



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA  
SUSTITUCIÓN DE COMBUSTIBLE NO RENOVABLE  
POR ENERGÍA SOLAR, EN EL PARQUE ACUÁTICO  
LOS ELENES”**

**Orna Hernández Edwin Oswaldo**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**2012 – 05 – 10**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**EDWIN OSWALDO ORNA HERNÁNDEZ**

---

Titulada:

**“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA SUSTITUCIÓN DE  
COMBUSTIBLE NO RENOVABLE POR ENERGÍA SOLAR, EN EL PARQUE  
ACUÁTICO LOS ELENES”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

---

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Gilberto Zabala Navarrete  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Rodrigo Díaz Bonifaz  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** EDWIN OSWALDO ORNA HERNÁNDEZ

**TÍTULO DE LA TESIS:** “ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA SUSTITUCIÓN DE COMBUSTIBLE NO RENOVABLE POR ENERGÍA SOLAR, EN EL PARQUE ACUÁTICO LOS ELENES”

**Fecha de Examinación:** 2012 – 12 - 13

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Gilberto Zabala Navarrete DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Rodrigo Díaz Bonifaz ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Edwin Oswaldo Orna Hernández

## **DEDICATORIA**

Este trabajo realizado con esfuerzo y dedicación lo dedico a mis padres, Edwin y Martha pilar fundamental para la consecución de mis metas, a mi hermana Mercy por su incondicional apoyo y cariño, a mis sobrinos por cultivar la esperanza y demostrarme que esta vida nos depara días mejores.

**Edwin Oswaldo Orna Hernández**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por las bendiciones recibidas, a mis padres por la vida otorgada, a aquellos maestros quienes supieron inspirarme, compartirme sus conocimientos y experiencias y generar en mí el deseo de progresar y buscar ser siempre El mejor en los proyectos que emprenda, a mis amigos y familiares que con su apoyo incondicional en todo momento que los necesité, fueron un pilar fundamental para ver cristalizado este sueño.

**Edwin Oswaldo Orna Hernández**

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 <i>Objetivo general.</i> .....	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE CALENTAMIENTO</b> .....	5
2.1 Generalidades. ....	5
2.1.1 <i>Localización</i> .....	5
2.1.2 <i>Descripción de la instalación existente.</i> .....	8
2.1.3 <i>Determinación del consumo de combustible</i> .....	13
2.1.4 <i>Definición</i> .....	16
2.1.5 <i>Determinación del consumo diario de agua caliente</i> .....	19
2.2 Cálculo de la demandada de energía térmica .....	20
2.2.1 <i>Cálculo de la temperatura diaria media mensual TAFY</i> .....	21
2.3 Impacto ambiental.....	22
<b>3. ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL COMPLEJO</b> .....	26
3.1 Estudio de la radiación solar en el Cantón Guano .....	26
3.1.1 <i>Descripción de la Constante solar</i> .....	27
3.1.2 <i>Parámetros de la posición del sol e intensidad de la radiación</i> .....	28
3.1.3 <i>Análisis de la variabilidad de los parámetros climatológicos y atmosféricos</i> .....	31
3.2 Descripción de los componentes de la radiación .....	32
3.2.1 <i>Radiación solar extraterrestre <math>I_0</math></i> .....	39
3.2.3 <i>Radiación global diaria media mensual sobre superficie inclinada <math>G_{dm\beta}</math></i> .....	48
3.3.1 <i>Corrección de la temperatura</i> .....	53
3.4 Cálculo de la energía neta anual. ....	56
<b>4. DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE CALENTAMIENTO</b> .....	57
4.1 Condiciones para el dimensionamiento .....	57
4.1.1 <i>Condiciones de confort en piscinas públicas cubiertas:</i> .....	58
4.2 Pérdidas de calor en el vaso de la piscina.....	59
4.2.1 <i>Pérdidas por evaporación</i> .....	60
4.2.2 <i>Pérdidas por radiación</i> .....	69
4.2.3 <i>Pérdidas por convección</i> .....	72

4.2.4 Pérdidas por renovación .....	72
4.2.5 Pérdidas por transmisión.....	73
4.2.6 Pérdidas por conducción. ....	74
4.2.7 Pérdidas Totales. ....	76
4.3 Manta térmica.....	77
4.4 Inercia térmica.....	80
4.5 Sistema de deshumidificación .....	81
4.6 Selección de la configuración básica. ....	84
4.7 Descripción técnica .....	87
4.8 Selección del colector según su aplicación .....	92
4.9 Dimensionado de la superficie de los captadores .....	95
4.10 Determinación del número de colectores solares .....	97
4.11 Configuración de los colectores.....	100
4.11.1 Distancia entre filas de colectores.....	101
4.11.2 Selección de la estructura soporte.....	103
4.12 Dimensionamiento del sistema hidráulico .....	107
4.12.1 Interconexión entre el Sistema Solar y la Sala de Máquinas. ....	118
4.13 Diseño del sistema de control .....	120
4.13.1 Elementos del sistema de control.....	121
4.13.2 Funciones del sistema de control.....	122
4.13.3 Instalación del controlador y de los sensores .....	123
4.14 Mantenimiento de la instalación de energía solar térmica .....	124
4.14.1 Documentos para el usuario.....	130
<b>5. ANALIZAR EL COSTO – BENEFICIO. ....</b>	<b>133</b>
5.1 Inversión inicial.....	133
5.1.2 Costos directos.....	134
5.1.3 Costos indirectos.....	136
5.1.4 Costos totales.....	136
5.1.5 Periodo de amortización.....	137
5.1.6 Rentabilidad económica del proyecto.....	140
5.1.7 Rentabilidad ambiental del proyecto.....	142
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>146</b>
6.1 Conclusiones .....	146
6.2 Recomendaciones.....	149

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**



## LISTA DE TABLAS

1 Poder calórico del agua a presión constante .....	12
2 Número de turistas del Balneario Los Elenes .....	17
3 Demanda histórica y proyectada.....	18
4 Consumo de agua mensual .....	20
5 Temperatura ambiente (°C) diaria media mensual para el cantón Guano sector Los Elenes...	21
6 Demanda energética.....	22
7 Horas sol año .....	24
8 Media-horas sol año 2011 .....	34
9 Número medio de horas diarias de sol útiles.....	36
10 Número medio de horas diarias de sol útiles .....	36
11 Factor de distancia ( $\xi$ ).....	37
12 Ángulo de declinación solar ( $\delta$ ).....	38
13 Ángulo de puesta del sol ( $w_s$ ).....	39
14 Radiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal para Riobamba.....	44
15 Radiación directa media mensual sobre superficie horizontal para la ciudad de Riobamba	45
16 Índice de transparencia atmosférica diaria media mensual para la ciudad de Riobamba .....	46
17 Radiación difusa media mensual sobre superficie horizontal para la ciudad de Riobamba..	47
18 Valores de $R_b$ .....	50
19 Radiación global diaria media mensual sobre superficie inclinada a 5° para Riobamba.....	52
20 Temperatura ambiente (°C) diaria media mensual para el cantón Guano - Los Elenes .....	54
21 Valores de la variable x .....	55
22 Rendimiento térmico diario medio mensual del captador solar .....	55
23 Determinación de la energía neta anual captada.....	56
24 Temperaturas de confort en piscinas .....	59
25 Coeficiente de resguardo $\xi$ .....	63
26 Humedad absoluta del aire saturado para 65% HR .....	66
27 Pérdidas totales .....	76
28 Parámetros característicos de los distintos tipos de colectores solares.....	93
29 Características captador solar .....	96
30 Energía captada mensualmente por el equipo térmico seleccionado.....	100
31 Relación entre la inclinación y el coeficiente k de separación entre filas .....	102
32 Coeficiente de corrección según la configuración de los captadores .....	110
33 Características para tubería de polipropileno.....	112

34 Pérdida de carga en elementos del circuito.....	116
35 Pérdida de cargas .....	117
36 Plan de revisión instalación solar térmica.....	126
37 Mantenimiento del sistema de captación.....	128
38 Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad.....	128
39 Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad para el captador solar....	129
40 Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad para el circuito hidráulico ...	129
41 Operaciones de mantenimiento preventivo para el sistema eléctrico y de control.....	130
42 Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad para el sistema auxiliar.	130
43 Elementos para una instalación solar térmica.....	134
44 Costos directos .....	135
45 Costos indirectos.....	136
46 Costos totales .....	136
47 Energía solar útil anual captada por el equipo térmico solar .....	137
48 Beneficio anual acumulado.....	140
49 Flujo de caja.....	142
50 Composición del gas natural.....	143
51 Moles en la composición del gas natural. ....	144

## LISTA DE FIGURAS

1 Ubicación .....	5
2 Mapa de ubicación de Los Elenes.....	6
3 Vista panorámica del parque acuático Los Elenes.....	6
4 Galpón de la piscina semi olímpica cubierta .....	8
5 Piscina de agua temperada semi olímpica cubierta .....	8
6 Sistema básico de recirculación .....	9
7 TOBOGAN-WATER caldero vertical de un solo paso a baja presión.....	10
8 Esquema del proceso de calentamiento .....	14
9 Presentación de los cilindros de 45 kg.....	15
10 Edad promedio de los turistas .....	17
11 Demanda histórica y proyectada.....	18
12 Volumen de la piscina.....	19
13 Equivalencias de CO <sub>2</sub> .....	23
14 Estudio de emisiones de CO <sub>2</sub> actuales .....	23
15 Cálculo emisiones de CO <sub>2</sub> sistema solar térmico .....	25
16 Comparación emisiones CO <sub>2</sub> .....	25
17 Atlas radiación solar .....	27
18 Sur geográfico.....	29
19 Ángulo de inclinación del captador respecto de la horizontal .....	31
20 Temperaturas máximas y mínimas .....	31
21 Precipitación – nubosidad.....	31
22 Velocidad del viento .....	32
23 Humedad relativa.....	32
24 Horas sol .....	35
25 Ángulo de declinación solar .....	37
26 Ángulo de puesta del sol.....	38
27 Radiación global .....	43
28 Radiación directa .....	44
29 Radiación difusa .....	47
30 Radiación global absorbida.....	48
31 Posición del sol respecto a un plano inclinado .....	49

32 Pérdidas energéticas en el vaso de la piscina.....	59
33 Esquema de pérdidas de calor de la piscina.....	60
34 Transferencia de masa del agua al aire .....	62
35 Evolución de $m_o$ con $T_{\text{agua}}$ .....	67
36 Efecto del número de usuarios .....	68
37 Seguimiento de un rayo solar en el interior del vaso .....	71
38 Efecto del número de usuarios .....	75
39 Flujos de calor y masa en la piscina .....	75
40 Grafica pérdidas en el vaso de la piscina .....	76
41 Manta térmica .....	77
42 Enrollador cilíndrico manual-manta térmica .....	79
43 Manta térmica 380 gr.....	79
44 Enrollador mediante cintas - manta térmica .....	80
45 Inercia térmica .....	81
46 Cuadro sinóptico para el cálculo de la instalación solar térmica.....	84
47 Configuración básica .....	85
48 Evolución de la temperatura del agua y de los aportes solar y auxiliar.....	86
49 Esquema del colector de placa plana con cubierta .....	89
50 Foto de un colector solar de placa plana con cubierta .....	89
51 Foto de un colector solar tipo CPC estacionario.....	90
52 Foto de un colector de placa plana sin cubierta .....	91
53 Variación de la eficiencia, en distintos tipos de colectores. ....	92
54 Eficiencia de colectores solares .....	93
55 Modelos según el área de captación del colector solar plano .....	99
56 Esquema de conexión del sistema de captación .....	101
57 Representación de la separación de la primera fila de colectores.....	102
58 Estructura soporte de los colectores solares .....	104
59 Puntos de fijación de los colectores .....	105
60 Kit de estructura soporte .....	106
61 Diagrama de Moody. ....	116
62 Pérdida de carga producida por el paso del agua a través del captador .....	117
63 Bomba de circulación WILO STAR.....	118
64 Esquema recomendado para piscinas con $t$ de filtrado menor o igual a 8 h. ....	119
65 Esquema recomendado para piscinas con $t$ de filtración menor o igual a 16 h .....	120

66 Representación del sistema de control.....	122
67 Diagrama de configuración de controlador y sensores .....	123
68 Instalación de los sensores .....	124

## LISTA DE ABREVIACIONES

A	Área
API	Instituto Americano del Petróleo
API 653	Norma para Reparación, Funcionamiento e Inspección de Tanques de Almacenamiento
ART	Normas para Compañías Aseguradoras
ANSI	Instituto Nacional Americano Estándar (American National Standard Institute)
ASME	Sociedad americana de Ingenieros Mecánicos
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
B.31.3	B.31 Código para Tuberías de Presión
B.31.3	Código para Tuberías de Proceso
B.31.1	Código para Tuberías de Potencia

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Factores Básicos de Calidad en Tuberías
- B** Clasificación de Esfuerzos permisibles

## RESUMEN

El fomento en el uso de energías renovables por parte de las instituciones proyecta un cambio positivo muy importante en el cuidado del ambiente. En definitiva, emplear energía solar térmica es dar un paso fundamental para conseguir una empresa sostenible, es decir, una empresa preparada para afrontar el futuro.

Este proyecto trata el estudio de la implementación de una instalación solar térmica, destinada al calentamiento de agua para la piscina cubierta del Complejo Turístico “Los Elenes”. Los datos de partida para el cálculo de la instalación solar están constituidos por dos grupos de parámetros: radiación solar aportada y la demanda energética total. Utilizando una metodología secuencial se calcula el aporte solar para la determinación de la radiación global sobre una superficie inclinada, partiendo del concomitamiento de la radiación global sobre una superficie horizontal en función de la radiación directa, difusa y reflejada.

Para determinar la demanda energética se considera tener presente las condiciones de confort adecuadas en piscinas públicas cubiertas, para un posterior análisis de las distintas pérdidas de calor que influyen sobre la temperatura del agua de la piscina a fin de conocer los factores principales sobre los que es preciso actuar desde el punto de vista de ahorro energético.

Una vez realizado el diseño se realiza un presupuesto detallado de la instalación para conocer la inversión inicial necesaria para su puesta en marcha, así como un estudio de rentabilidad económica que demuestre la viabilidad de la misma.



## ABSTRACT

To encourage the use of renewable energies on the part of the institutions, projects a very important positive change in the care of environment. To use thermal solar energy is to give a fundamental step to obtain a sustainable company that is so say, a company prepared to confront the future.

This project examines the implementation of solar thermal installation for the water heating for the indoor pool at the resort “Los Elenes”. Baseline data for the calculation of the solar installation are composed of two groups of parameters: solar radiation provided and total energy demand.

Using a sequential methodology the solar contribution is calculated to determine the global radiation on a horizontal surface according to direct diffuse and reflected radiation.

To determine the energy demand is considered to have this comfort conditions covered in public pools, for a subsequent analysis of the various heat loss that influence the temperature of the water from the pool in order to know the factors for the energy savings.

Once the design was carried out a budget was detailed installation for the initials investment for their implementation, as well as study of economic profitability demonstrating its viability.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La cantidad de energía que el sol vierte diariamente sobre la tierra es diez mil veces mayor que la que se consume al día en todo el planeta, según reporta la empresa española CENSOLAR, Ecuador esta favorecido por su situación geográfica y climatológica para aprovechar este tipo de tecnología. En particular, en la región interandina ecuatoriana, la radiación media es del orden  $1.600 \text{ kw-h/m}^2$  año.

Esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar, es perpendicular a nuestra superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo de incidencia de la luz solar, varía acorde a las estaciones del año.

Esta ventaja posicional del Ecuador, se traduce en la recepción de una mayor y constante cantidad de radiación solar. Los fuertes problemas ambientales provocados por el uso masivo de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural), hacen cada vez más urgente la búsqueda y el desarrollo de fuentes limpias y renovables de energía. Afortunadamente, la naturaleza ofrece una gran variedad de opciones entre las que destacan las que se derivan en forma directa de la energía solar (radiación) o indirecta (vientos, olas, corrientes de agua, biomasa). El sol se presenta como una alternativa viable que ofrece un potencial energético que equivale a varios millares del consumo mundial de energía, y el reto de su aprovechamiento directo o indirecto se hace indispensable para el hombre, sobre todo en el desarrollo de tecnologías económicamente rentables, como lo constituyen aparatos de aprovechamiento térmico a través de colectores solares. En el parque acuático “Los Elenes” se presenta como una gran problemática el alto consumo de GLP incrementando los costos para el funcionamiento de sistema de calentamiento del agua de la piscina.

Las estadísticas indican que un calentador solar puede disminuir el consumo energético, dependiendo de las condiciones climáticas, entre el 20 y el 75%, e incluso hasta un 100%, cuando se logra sustituir completamente el consumo de gas o electricidad. Actualmente, la eficiencia de los calentadores solares puede ser hasta de un 80%, dependiendo de los materiales utilizados, la tecnología instalada, el mantenimiento y el uso que se le da.

## **1.2 Justificación**

El uso y aprovechamiento de la energía solar se justifica porque es: gratuita, abundante, descentralizante, renovable, tecnología accesible al medio, costos de generación amortizables, limpia y ecológica, además presenta grandes ventajas ambientales en comparación con otras energías no renovables:

Emplea un recurso inagotable: la radiación solar.

Su impacto sobre el medio ambiente es mínimo. Los posibles impactos medioambientales en la fase de instalación no tienen un carácter permanente, y desaparecen en la fase de explotación.

No emite gases contaminantes a la atmósfera, ni gases de efecto invernadero.

Un elemento favorable de la energía solar térmica es que su aplicación suele tener lugar en el entorno urbano, en donde la concentración de contaminantes atmosféricos es más elevada.

No afecta a la calidad de las aguas ni al suelo. No produce ruidos molestos. El principal impacto de los sistemas solares térmicos sobre el medio físico es el efecto visual sobre el paisaje, por lo que se ha de poner especial atención en su integración cuidadosa en el entorno.

No existen efectos negativos sobre flora y fauna, aunque sí se ha de prestar especial atención en aquellas instalaciones que ocupen una gran extensión de terreno.

Una instalación solar no se suele diseñar para sustituir por completo el uso de energía convencional (gasóleo, gas natural, electricidad, etc.).

Si ese fuera el caso, sus dimensiones y complejidad la harían antieconómica. Por ejemplo, debería contar con costosos sistemas de acumulación de energía a largo plazo. Pero lo que sí puede conseguir fácilmente una instalación de energía solar térmica de coste razonable es sustituir aproximadamente las dos terceras partes de la energía convencional.

El factor ambiental es cada vez más determinante en la imagen de las empresas. Una empresa contaminante reduce sensiblemente su calificación de cara a clientes y proveedores. Aprovechar las energías renovables en la empresa supone un cambio positivo muy importante en este sentido.

La instalación puede considerarse complementaria a una certificación ambiental (ISO 14.000, EMAS), dado que estos sistemas buscan la mejora continua de la gestión medioambiental. Estas certificaciones voluntarias son cada vez más importantes, tanto desde el punto de vista de la administración como de la creciente tendencia a crear comunidades de empresas respetuosas con el medio ambiente. En definitiva, emplear energía solar térmica supone dar un paso fundamental para conseguir una empresa sostenible, es decir, una empresa preparada para afrontar el futuro.

En el cantón Guano se encuentra ubicado el parque acuático Los Elenes, siendo este un aporte que contribuye al desarrollo económico, social y cultural de la zona. Cuenta con 3 toboganes, 2 piscinas de llegada para los toboganes, piscina semi olímpica temperada, piscina para niños en la que cuenta con juegos interactivos, piscina de olas, canchas deportivas, zonas de camping y zonas de relax.

El calentamiento del agua en la piscina semi olímpica se lo realiza mediante la utilización de dos calderas tipo vertical de un solo paso con una presión de trabajo (20-30 psi), combustible GLP, potencia 22 BHP. Este trabajo de tesis pretende optimizar precios, fomentar el uso de sistemas de calentamiento solar de agua para de este modo hacer uso de fuentes renovables y disminuir el consumo de energía convencional contaminante.

Sin embargo de lo expuesto la falta de metodologías para el cálculo y la estimación de la radiación solar en lugares sin estaciones es uno de los problemas más difíciles que se plantean en el estudio de la disponibilidad de la energía solar. Se considera conveniente la estimación empleando la información de las estaciones más próximas mediante la elaboración de un promedio ponderado.

En la actualidad se instalan sistemas, sin un verdadero criterio técnico, entre los principales inconvenientes que se presentan al instalar los sistemas sin un respaldo técnico están: sistemas subdimensionados, sistemas sobredimensionados y sistemas mal instalados.

Por estas consideraciones técnicas, sociales, económicas y ambientales se justifica plenamente la realización del estudio para la implementación de paneles solares en el parque acuático Los Elenes.

### **1.3 Objetivos**

**1.3.1 Objetivo general.** Estudiar técnica y económicamente la sustitución de combustibles no renovables, por energía solar en el parque acuático Los Elenes.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

Describir el sistema actual de calentamiento y cuantificar el consumo de agua y energía en función de la demanda.

Analizar la radiación solar en el complejo Los Elenes.

Diseñar el nuevo sistema de calentamiento de agua con energía solar para la piscina semi-olímpica de Los Elenes.

Analizar el costo – beneficio de este sistema para su implementación.

## CAPÍTULO II

### 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE CALENTAMIENTO Y CUANTIFICACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA Y ENERGÍA EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA.

#### 2.1 Generalidades.

**2.1.1 Localización.** El presente estudio se llevó a cabo en la provincia de Chimborazo, cantón Guano sector los Elenes, ubicado a 6 km de la ciudad de Riobamba.

El parque acuático Los Elenes es un balneario de aguas minerales con poderes curativos, además posee varios servicios para el confort y bienestar del turista. Se halla en el sector turístico que contribuye al desarrollo económico, social y cultural del cantón Guano.

En el conjunto de dependencias municipales, entendidas éstas como centros de servicio al ciudadano, son de destacar las piscinas climatizadas, ya que el interés municipal en las mismas es por la importante función social que desempeñan.

Figura 1. Ubicación



Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

Figura 2. Mapa de ubicación de Los Elenes



Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

Figura 3. Vista panorámica del parque acuático Los Elenes



Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

**2.1.1.1 Ubicación geográfica.** A continuación se detallan los principales parámetros influyentes para el estudio (TU TIEMPO NETWORK, 2009):

Latitud: -1,583 3

Latitud DMS: 1° 34' 60s

Longitud: -78,633 3

Longitud DMS: 78° 37' 60 W

Altura pies: 8 921,6

Altura metros: 2 728 m.s.n.m.

**2.1.1.2 Características climáticas.** Para definir la climatología es necesaria la observación durante un lapso largo, la Organización Meteorológica Mundial estableció períodos mínimos de 30 años, determinando así de gran manera la evolución del ciclo en una región (GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, 2011).

- **Clima:** El clima en el cantón Guano es templado, agradable sin molestias del frío el clima del cantón Guano, con estaciones marcadas: seca y lluviosa, según el mapa climático del Ecuador publicado por el INAMHI, el subtipo climático que le corresponde es el templado – lluvioso.
- **Temperatura:** Posee una temperatura entre 6 °C y 18 °C, con una intensidad luminosa fuerte a partir de las 12 horas del mediodía hasta las primeras horas de la tarde es decir 15 horas. La temperatura máxima se presenta generalmente en el mes de diciembre, mientras que las temperaturas mínimas se presentan en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre.
- **Precipitación:** Según datos publicados por el INAMHI, las precipitaciones de mayor intensidad corresponden a los meses de marzo, abril y junio, la menor intensidad se presenta en el mes de septiembre, obteniendo así una precipitación promedio anual de 31,15 mm. Se puede manifestar que los meses de menor temperatura y mayor nubosidad corresponden a los meses de mayor evaporación con un promedio de 23,50 mm.
- **Suministro de Agua:** Las aguas que lo alimentan brotan de la peña de Langos a una temperatura promedio de 14 °C y ricas en minerales.
- **Humedad Relativa:** 65 %



**2.1.2 Descripción de la instalación existente.** La piscina cubierta del presente estudio se encuentra dentro del parque acuático “Los Elenes”. El vaso de la piscina tiene una dimensión de 25 m de largo y 12,5 m de ancho, todas las estancias de la piscina se encuentran en una misma planta. El agua de la piscina está en condiciones normales en recirculación, se recoge de los rebosaderos, de ahí se impulsa con la bomba y antes de volver a introducirla en la piscina se depura en los filtros de depuración. El agua ingresa a la piscina por las paredes laterales, generalmente se produce una renovación del agua de la piscina del 5%.

Figura 4. Galpón de la piscina semi olímpica cubierta



Fuente: autor

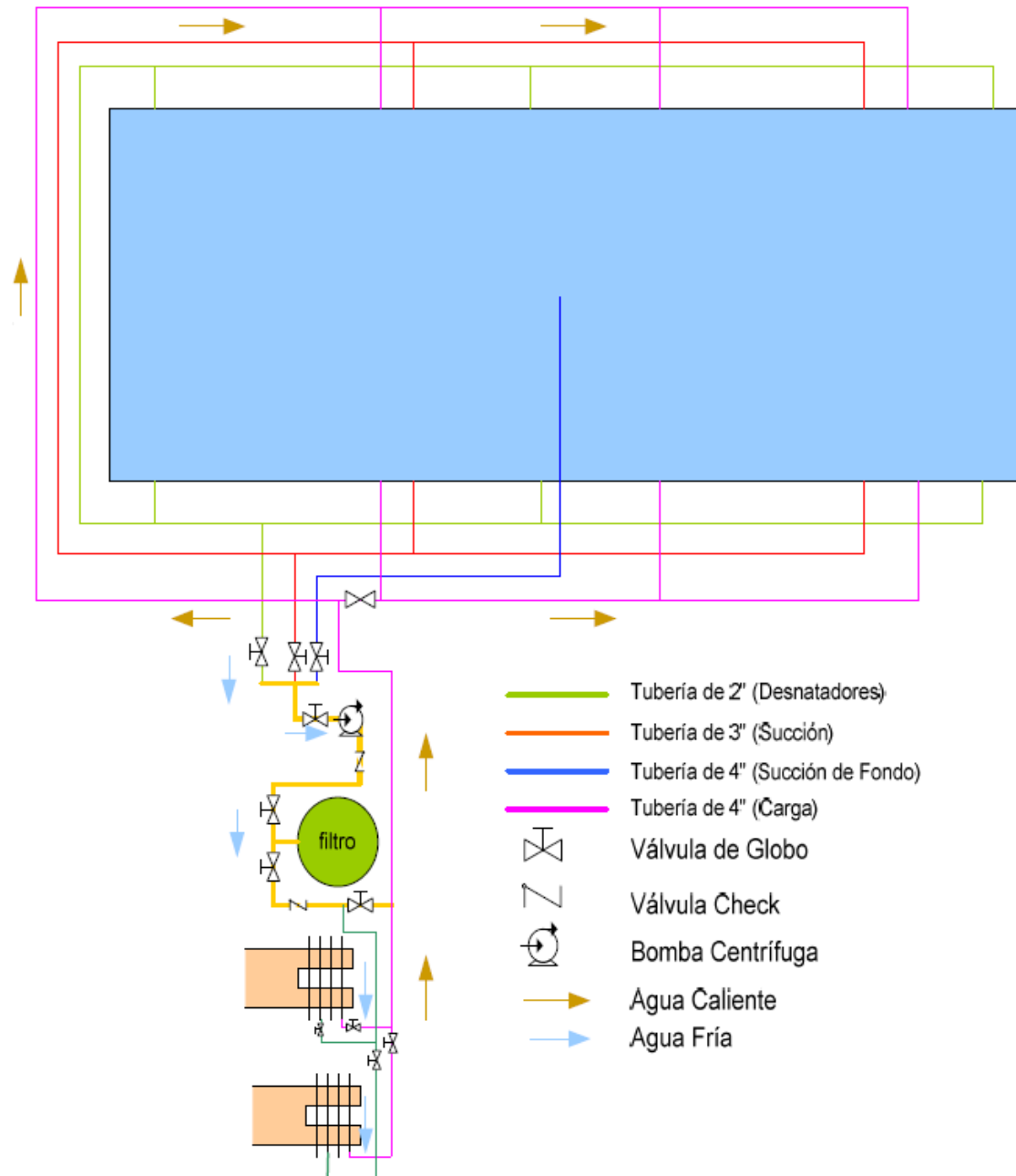
Figura 5. Piscina de agua temperada semi olímpica cubierta



Fuente: autor

Para realizar el estudio energético de la piscina es vital entender el funcionamiento de la instalación, conociendo que la producción de agua caliente se realiza mediante las calderas, las cuales alimentan al sistema.

Figura 6. Sistema básico de recirculación

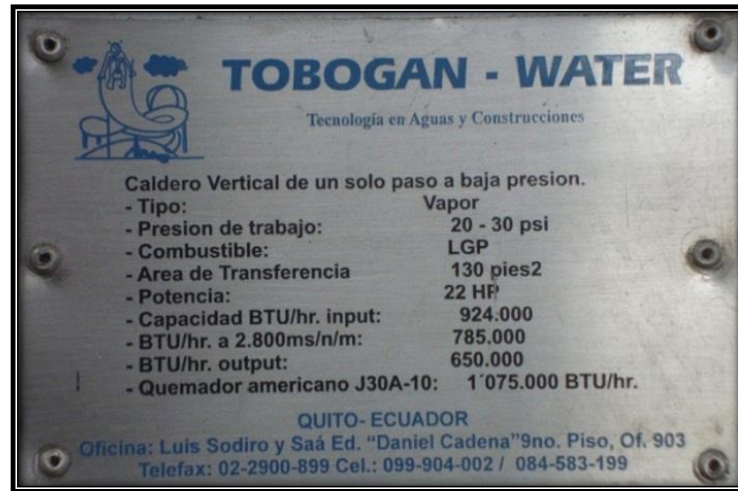


Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

La sala de calderas está ubicada en la parte exterior siendo un área totalmente independiente de la piscina; las dimensiones de la sala son 9 m de largo y 5 m de ancho.

Consta de dos calderas TOBOGAN-WATER que trabajan alternativamente, el agua de la red pasa a través de las calderas para elevar su temperatura y a través de dos bombas de recirculación dispuestas en paralelo.

Figura 7. TOBOGAN-WATER caldero vertical de un solo paso a baja presión



Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

Teniendo las siguientes características de la caldera TOBOGAN-WATER. El rendimiento de esta caldera es de un 92% para la potencia nominal. Además permite una variación de potencia desde el 30%. Las chimeneas de las calderas son con salida al exterior mediante ventilación forzada.

Los generadores de calor en los calentadores actuales son quemadores a gas (GLP), estos poseen un regulador de presión y uno de temperatura automáticos; es decir, se encienden o se apagan de acuerdo a la temperatura de consigna.

Las calderas tienen una antigüedad de 10 años, por lo que se utilizarán como sistema de apoyo en los momentos en el que la aportación solar no llegue a la temperatura fijada, trabajando alternativamente.

Una vez que lleguen al final de su vida útil se remplazarán por otras dos calderas de menor potencia y mayor rentabilidad.

- **Cálculo de la eficiencia térmica de los calentadores:** La cantidad de calor que está generando actualmente con los calentadores se evalúa mediante la siguiente ecuación.

$$q_c = \dot{m} * c \quad (1)$$

Dónde:

- $q_c$  = calor entregado
- $\dot{m}$  = flujo másico del gas GLP
- $c$  = poder calórico del gas GLP  $11\,500 \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \right]$  (Energía Solar Térmica, 2007)

De acuerdo con el catálogo del fabricante de los calentadores tenemos un gasto másico correspondiente a  $(6,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}})$ .

$$q_c = (6,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}})(11\,500 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}})$$

$$q_c = 78\,200 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 310\,339,1 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

El calor utilizado por el agua al pasar ésta por los calentadores.

$$q_s = \dot{m} * C_p * \Delta t \quad (2)$$

Dónde:

- $\dot{m}$  = Flujo másico del agua =  $10\,447,7 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$

- $C_p = \text{poder calorífico del agua a presión constante} = 4,18 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right]$
- $\Delta t = \text{Gradiente de temperatura} = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$

El poder calorífico expresa la energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

El poder calorífico del agua se define como la cantidad de calor necesario para elevar 1  $^\circ\text{C}$  la temperatura de 1 kg de un cuerpo.

Tabla 1. Poder calorífico del agua a presión constante

<b>Agua</b>	1	kcal/kg $^\circ\text{C}$	4,18	kJ/kg $^\circ\text{C}$	1,16	Wh/kg $^\circ\text{C}$
<b>Aire</b>	0,24	>>	1,00	>>	0,28	>>
<b>Vapor de agua</b>	0,42	>>	1,76	>>	0,49	>>
<b>Hielo</b>	0,50	>>	2,09	>>	0,58	>>
<b>Acero</b>	0,12	>>	0,50	>>	0,14	>>
<b>Hormigón armado</b>	0,26	>>	1,09	>>	0,30	>>
<b>Lana de vidrio</b>	0,20	>>	0,84	>>	0,23	>>

Fuente: [www.ehu.es](http://www.ehu.es)

Flujo másico del agua

$$\dot{m} = \delta * Q$$

$Q = 46,7 \text{ GMP}$  (para un diámetro de tubería de 2'') (Energía Solar Térmica, 2007 págs. 16-20)

$$\dot{m} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,174128 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$\dot{m} = 10447,74 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Remplazando en la (ecuación 2) tenemos:

$$q_s = 10\,447,7 \frac{kg}{h} * 4,18 \frac{kJ}{kg\,^{\circ}C} * 4\,^{\circ}C$$

$$q_s = 174\,969,72 \frac{kJ}{h}$$

$$q_s = 165\,848,04 \frac{BTU}{hora}$$

- **Eficiencia del calentador**

$$\eta = \frac{\text{Calor absorbido}}{\text{Calor generado}} * 100\% \quad (3)$$

$$\eta = \frac{165\,848,04\, BTU/h}{310\,332,1\, BTU/h} * 100\%$$

$$\eta = 53.44\%$$

**2.1.3 Determinación del consumo de combustible.** En la piscina climatizada que se está estudiando, la producción de agua caliente se obtiene por aporte de calor de dos calderas de gas, cuya Potencia es de 22 BHP cada una, para aportar el calor necesario para cubrir las demandas térmicas de la instalación.

El combustible para el funcionamiento de los equipos es gas licuado de petróleo GLP además tomando en cuenta que las bombonas de gas utilizadas actualmente son de 45 kg, instaladas en una centralina de seis entradas para cada uno de los calentadores.

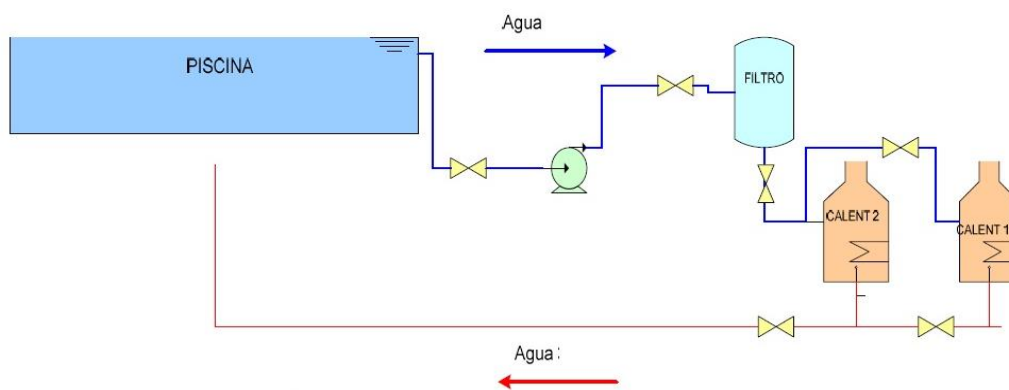
El Gas Licuado de Petróleo, al que llamaremos simplemente por sus siglas como GLP, tiene su origen en el tratamiento que se le da al petróleo crudo y/o al gas natural en sus fases de refinamiento.

El GLP tiene un alto poder calorífico, con valores comprendidos entre 11 000 kcal/kg – 12 500 kcal/kg, alcanzando una temperatura de llama de 1 900°C en aire y de 2 800 °C en oxígeno (CASTILLA, y otros, 1982) .

Este gas se genera a partir del gas butano que se licúa a partir de 0°C y el propano a partir de 44°C bajo cero. Para asegurar una buena combustión, el GLP debe siempre estar en su estado gaseoso.

Por este motivo el propano es idóneo para instalaciones al aire libre y en zonas frías, en las cuales nunca llega a licuarse.

Figura 8. Esquema del proceso de calentamiento



Fuente: Autor

- **Cilindro de GLP**

Para el sector industrial, según el artículo 3 del decreto ejecutivo publicado el 4 de febrero de 2003, “para el consumo de gas licuado de petróleo en industrias, hoteles y en toda actividad de producción de bienes y servicios, con fines lucrativos, se utilizará exclusivamente cilindros de 45 kg, conforme lo establecido para el sector industrial” (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2008).

Figura 9. Presentación de los cilindros de 45 kg



Fuente: AgipGas

Envase, normalmente metálico, con capacidad de almacenamiento de GLP, de hasta 45kg, que permite su transporte hasta los lugares de su utilización.

$$C_Q = m * t * n \quad (4)$$

Dónde:

- $C_Q$  = Consumo total de combustible
- $m$  = Gasto másico del gas
- $t$  = Tiempo de calentamiento
- $n$  = Número de calentadores

Entonces:

$$C_Q = (6.8 \frac{\text{kg}}{\text{h}})(8 \text{ h})(2)$$

$$C_Q = 112 \text{ kg}$$



$$C_Q = \frac{112 \text{ kg}}{45 \text{ kg}}$$

$$C_Q = 2,48 \text{ tanques}$$

Conociendo que en una semana se realiza el proceso de calentamiento durante cinco días, entonces el consumo semanal será el siguiente:

$$C_{\text{semanal}} = (5) (C_Q) \quad (5)$$

$$C_{\text{semanal}} = (5) (112 \text{ kg})$$

$$C_{\text{semanal}} = 560 \text{ kg}$$

$$C_{\text{semanal}} = \frac{560 \text{ kg}}{45 \text{ kg}}$$

$$C_{\text{semanal}} = 12,44 \text{ tanques de GLP.}$$

**2.1.4 Definición del número de usuarios.** El parque acuático “Los Elenes” tiene como mercado actual a turistas procedentes de Ambato, Quito, Guayaquil, Cuenca, Manta entre otros, siendo en su gran mayoría de procedencia local.

El balneario opera de jueves a lunes de 8:00 am a 5:30 pm; domingos y feriados de 6:30 am a 5:30 pm, el día martes no se brinda servicio ya que se dedica a dar mantenimiento a todo el sistema.

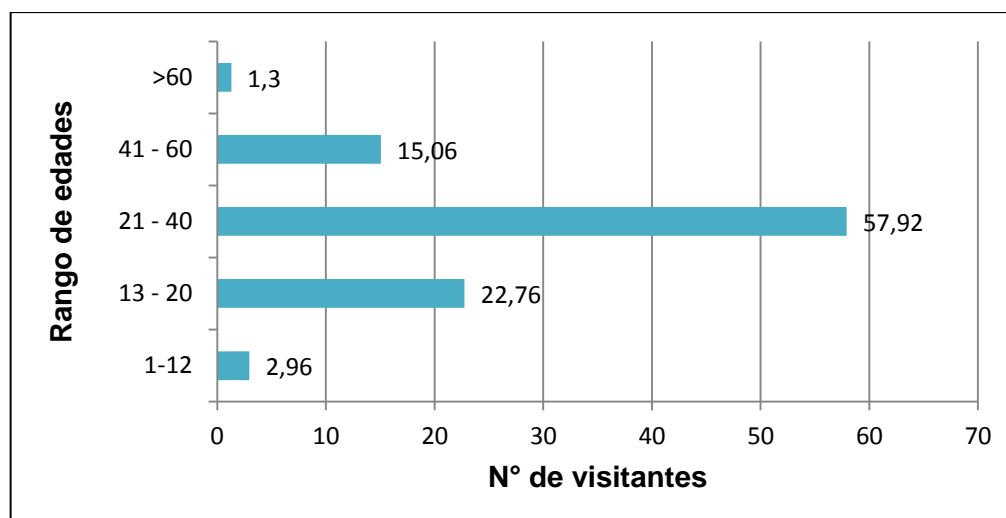
A partir de la inauguración del remodelado Parque Acuático los Elenes en el año 2008, se ha registrado un claro incremento en el número de usuarios del mismo, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 2. Número de turistas del balneario Los Elenes

N°	Fecha		Adultos					semana	Niños discapacitados					total semana	
			jueves	viernes	sábado	domingo	lunes		jueves	viernes	sábado	domingo	lunes		
1	04/09/2008	08/09/2008	50	60	190	438	50	788	10	15	27	337	14	403	1191
2	11/09/2008	15/09/2008	85	60	97	328	57	627	14	17	30	326	12	399	1026
3	18/09/2008	22/09/2008	25	85	125	446	65	746	9	12	21	296	4	342	1088
4	25/09/2008	29/09/2008	15	22	35	165	35	272	6	12	38	198	6	260	532
5	02/10/2008	06/10/2008	20	29	65	433	21	568	6	8	12	253	4	283	851
6				382	276			658		198	139			337	995
			<b>Total de entradas adultos</b>					<b>3659</b>	<b>2024</b>	<b>5683</b>					

Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

Figura 10. Edad promedio de los turistas



Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

- **Curva de la demanda histórica y proyectada**

Para realizar esta curva se determinará la demanda de aquellas personas que gustan de los balnearios de la ciudad de Riobamba y del cantón Guano desde el año 2004 hasta el presente año, para luego proyectarla hasta el año 2015.

Los datos obtenidos fueron proporcionados por el Ilustre Municipio del cantón Guano, para luego ser proyectada a través de una media móvil

Tabla 3. Demanda histórica y proyectada

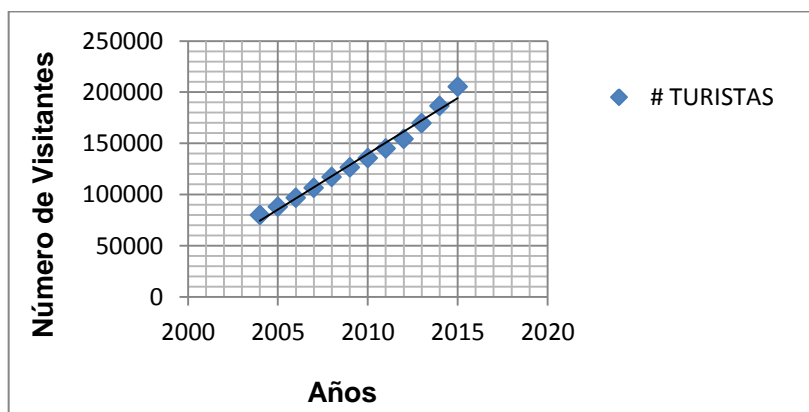
Demanda	
Años	# turistas
2004	80000
2005	88000
2006	96800
2007	106480
2008	117128
2009	126410
2010	135692
2011	144974
2012	154256
2013	169681
2014	186649
2015	205314

Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

En esta gráfica se observa una clara tendencia en el incremento de número de turistas en el cantón Guano, de éstos visitantes tomamos un porcentaje el cual nos serviría como fuente para proyectar la demanda futura de este complejo, garantizando la visita constante y afluente de visitantes durante todo el año.

Como se puede observar para el año 2015, año en el que se estima se haya implementado el proyecto se espera tener la visita de 205314 turistas, cubriendo de esta manera los costos de implementación del presente proyecto.

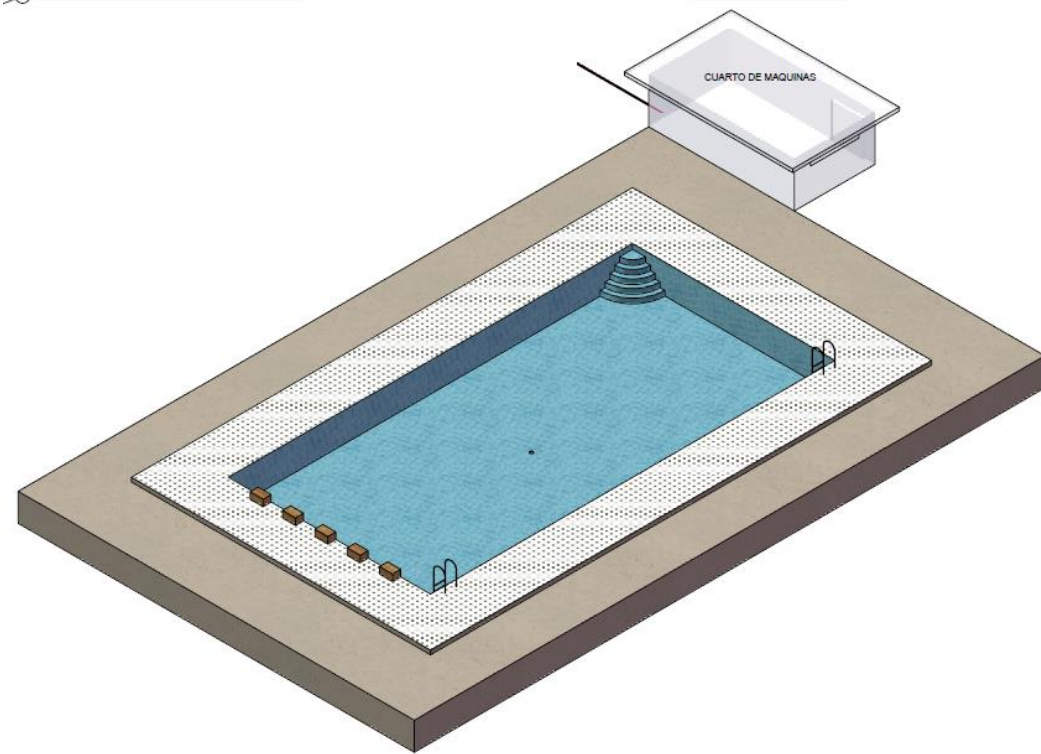
Figura 11. Demanda histórica y proyectada.



Fuente: Ilustre Municipio del cantón Guano

**2.1.5 Determinación del consumo diario de agua caliente.** La forma de la piscina que analizaremos es una piscina semi-olímpica de profundidad constante.

Figura 12. Volumen de la piscina



Fuente: Autor

$$\text{Volumen}(m^3) = (\text{Ancho})(\text{Largo})(P_{media}) \quad (6)$$

$$V = (25 \text{ m}) (12,5 \text{ m}) (1,8 \text{ m})$$

$$V = 562,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Superficie}(m^2) = (\text{Largo})(\text{Ancho}) \quad (7)$$

$$S = 312,5m^2$$

De acuerdo con la (tabla 4) tenemos los siguientes valores de Q.

Dónde:

Q1= consumo de agua para renovación diaria.

Q2= consumo de agua para renovación cada 3 días.

Tabla 4. Consumo de agua mensual

	<i>N<sub>días de operación</sub></i>	<i>Volumen (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Q1 (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Q2 (m<sup>3</sup>)</i>
Enero	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Febrero	18	562,5	10 125	3 375
Marzo	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Abril	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Mayo	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Junio	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Julio	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Agosto	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Septiembre	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Octubre	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Noviembre	21	562,5	11 812,5	3 937,5
Diciembre	21	562,5	11 812,5	3 937,5
<b>Total</b>			<b>140 062,5</b>	<b>46 687,5</b>

Fuente: Autor

## 2.2 Cálculo de la demandada de energía térmica (BALDASANO, y otros, 2001).

La demanda energética anual es la sumatoria de las demandas energéticas mensuales.

$$D_{\text{año}} = \sum [N_{\text{días}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot Q_{T_{\text{ref}}} \cdot (T_{\text{ref}} - T_{AF})] \quad (8)$$

- $Q_{T_{\text{ref}}}$  = Es el consumo diario de agua del vaso de la piscina a una temperatura de referencia  $T_{\text{ref}}$ .
- $N_{\text{días}}$  = Es el número de días del mes que se esté evaluando.
- $c_p$  = Calor específico del agua.
- $T_{AF}$  = Temperatura diaria media mensual del agua de la red para el lugar en donde se va a instalar el equipo.
- $\rho$  = Es la densidad del agua.

**2.2.1 Cálculo de la temperatura diaria media mensual TAFY** (Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria, 2004). Para cualquier localidad (Y) que no sea capital de provincia la temperatura de agua fría diaria media mensual ( $T_{AFY}$ ) se obtiene a partir de la temperatura de agua fría diaria media mensual de su capital de provincia ( $T_{AFCP}$ ) aplicando la expresión.

$$T_{AFY} = T_{AFCP} - (B\Delta z) \quad (9)$$

Dónde:

$\Delta z$  = Es la diferencia de altura, expresada en metros, entre la localidad (Y) y la altura de referencia de la capital de la provincia de dicha localidad, la diferencia de altura será positiva si la localidad Y está a mayor altura que su capital.

B = Es una constante que toma los valores: B = 0,0066: Para los meses de octubre a marzo. B = 0,0033: Para los meses de abril a septiembre.

$\Delta z$  = (Altura Guano metros: 2 728 m.s.n.m.)(Altura Riobamba: 2 754 m.s.n.m.)

$\Delta z$  = -26 m.s.n.m.

Tabla 5. Temperatura ambiente (°C) diaria media mensual para el cantón Guano sector Los Elenes

Mes	$T_{AFCP}$	B	$\Delta z$	$T_{AFY}$
Enero	13,9	0,0066	-26	14,07
Febrero	14	0,0066	-26	13,91
Marzo	14	0,0066	-26	13,91
Abril	14	0,0033	-26	13,95
Mayo	13	0,0033	-26	12,95
Junio	13	0,0033	-26	12,95
Julio	12	0,0033	-26	11,95
Agosto	12	0,0033	-26	11,95
Septiembre	12	0,0033	-26	11,95
Octubre	13	0,0066	-26	12,92
Noviembre	13	0,0066	-26	12,92
Diciembre	14	0,0066	-26	13,91
<b>Media anual</b>				<b>13,12</b>

Fuente: Autor

Contamos con una temperatura media anual para el cantón Guano de 13,12 °C. Mediante la (ecuación 8) calculamos la demanda energética térmica anual.

Tabla 6. Demanda energética

<b>Mes</b>	<b>N<sup>d</sup>ías de operación</b>	<b>T<sub>AFY</sub> (°C)</b>	<b>Demanda (MJ)</b>
Enero	21	14,07	1 970,9
Febrero	18	13,91	1 714,1
Marzo	21	13,91	1 999,8
Abril	21	13,95	1 992,6
Mayo	21	12,95	2 172,9
Junio	21	12,95	2 172,9
Julio	21	11,95	2 353,2
Agosto	21	11,95	2 353,2
Septiembre	21	11,95	2 353,2
Octubre	21	12,92	2 178,3
Noviembre	21	12,92	2 178,3
Diciembre	21	13,91	1 999,8
<b>Total año</b>			<b>25 439</b>

Fuente: Autor

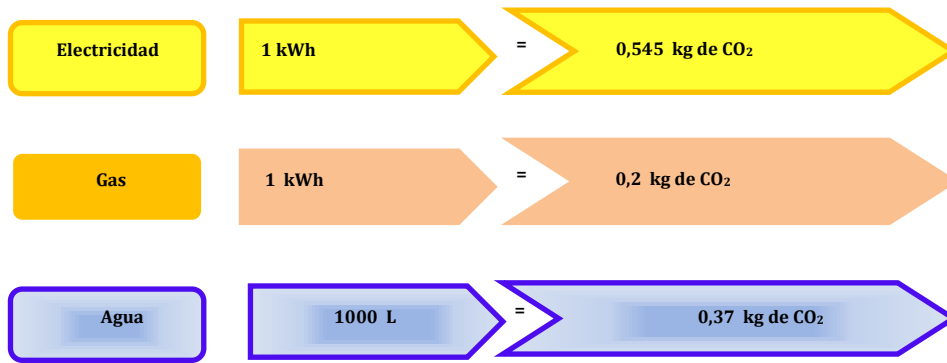
## 2.3 Impacto ambiental

**2.3.1 Emisiones.** (Atlantic Consulting, 2009). El presente proyecto tiene como propósito no tan sólo ahorrarle a la empresa costes de consumo en gas GLP y en agua sino también contribuir en lo posible en las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>.

A continuación realizaremos un estudio de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producirían con la instalación solar térmica y las compararemos con las que se están produciendo actualmente.

Para poder llevar a cabo este estudio es necesario utilizar los siguientes factores de conversión, como la recomendación para llevar a cabo el impacto ambiental de instalaciones solares.

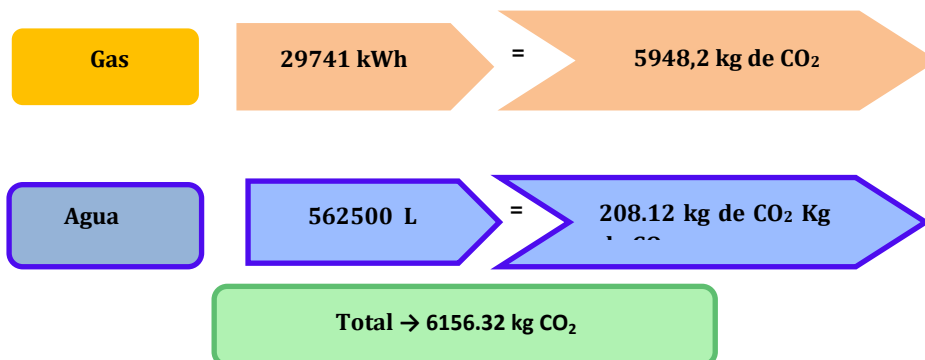
Figura 13. Equivalencias de CO<sub>2</sub>



Fuente: Revista Geográfica n°40

**2.3.1 Emisiones de CO<sub>2</sub> actuales.** Como hemos visto en la (Figura13) el consumo de agua y gas, realizaremos el estudio para saber actualmente las emisiones de CO<sub>2</sub> que estamos generando, como se muestra en la (Figura14).

Figura 14. Estudio de emisiones de CO<sub>2</sub> actuales



Fuente: Revista Geográfica n°40

**2.3.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> nuevo proyecto.** Para el sistema solar térmico propuesto en este proyecto los puntos de consumo serían:

**Bomba:** La potencia de la bomba UPS 25-60 180 es de 62 W, la bomba sólo trabaja en las horas de sol ya que cuando no existe radiación es el sistema auxiliar quien proporciona el suministro de agua caliente.



Tabla 7. Horas sol año

MESES	HORAS SOL
Enero	189,2
Febrero	112,5
Marzo	188,7
Abril	126,8
Mayo	168,6
Junio	170,3
Julio	162
Agosto	170,7
Septiembre	123,4
Octubre	181,6
Noviembre	188,1
Diciembre	157,3
<b>SUMA</b>	<b>1 939,2</b>

Fuente: Centro metereológico ESPOCH

$$62W * 1939,2 \frac{h}{año} = 120,2 kWh/año$$

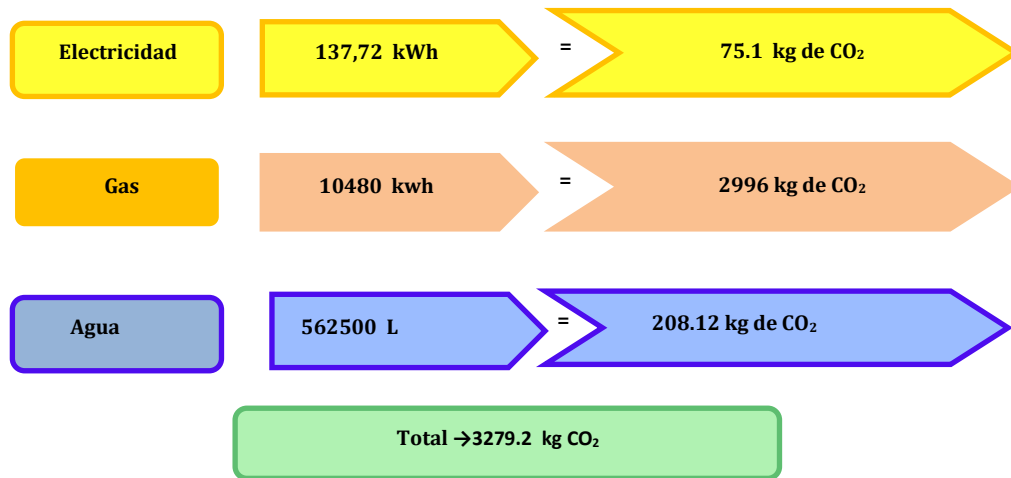
**Sistema de control:** Para el sistema de control se ha estimado aproximadamente que el consumo que realiza es de 2 W/h, teniendo en cuenta que este dispositivo está encendido siempre.

$$2W * 24 \frac{h}{dia} * 365 \frac{dia}{año} = 17,52 kWh/año$$

**Sistema de apoyo:** Como hemos visto un sistema de energía solar térmico siempre ha de ir acompañado por un sistema de apoyo para los momentos en los que el sistema solar no pueda llegar a los datos fijados. Considerando el aporte auxiliar de este proyecto sería de 37.728MJ/año.(caso ideal). Como acabamos de ver tenemos puntos de consumos de electricidad (bomba y sistema de control), de gas (sistema auxiliar) sin olvidar también el consumo de agua que realizaremos (dispositivos de ahorro).

$$37\ 728 \frac{MJ}{año} = 10,480 kWh/año$$

Figura 15. Cálculo emisiones de CO<sub>2</sub> sistema solar térmico

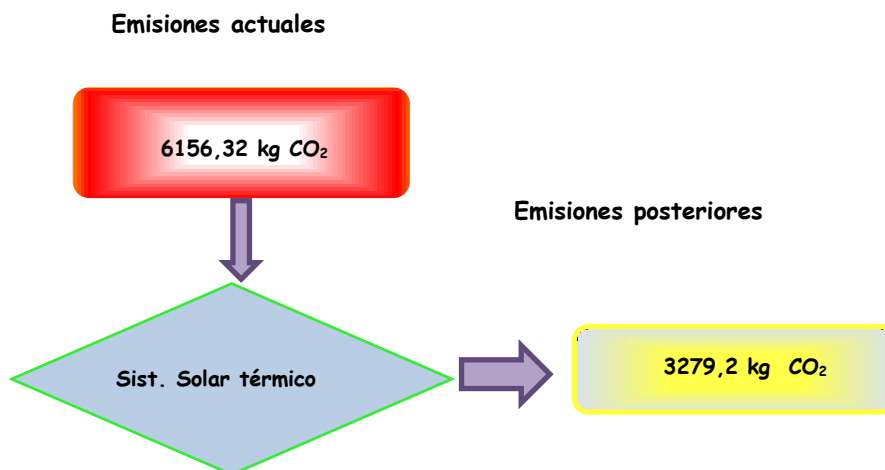


Fuente: Revista Geográfica n°40 y Autor

Comparando ambos estados según el siguiente gráfico se observa que la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> puede ser de aproximadamente 57%.

La reducción de la contaminación ambiental aún no se incluye como un parámetro de ahorro económico, aunque bien es cierto que mejorando la calidad ambiental y el aire que respiramos, contribuiremos a una mejor salud. Como podemos comprobar con la instalación solar térmica realizaremos una reducción de aproximadamente un 59% de emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyendo así a lo acordado en el protocolo de Kyoto.

Figura 16. Comparación emisiones CO<sub>2</sub>



Fuente: Revista Geográfica n°40 y Autor

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL COMPLEJO “LOS ELENES”

El análisis técnico va precedido de una explicación teórica destinada a situar las energías renovables en el contexto actual y explicar el funcionamiento de todos los elementos que componen la instalación, así como el método para dimensionarlos.

Datos confiables de radiación directa normal y de radiación global son necesarios para el dimensionamiento de una gran cantidad de sistemas de energía solar así como para el estudio comparativo de sitios de ubicación de los sistemas.

Datos de radiación solar junto con otros parámetros meteorológicos como la temperatura ambiente, temperatura de bulbo húmedo y velocidad del viento, los cuales también pueden afectar el comportamiento de algunos tipos de sistemas solares, por lo que serán analizados.

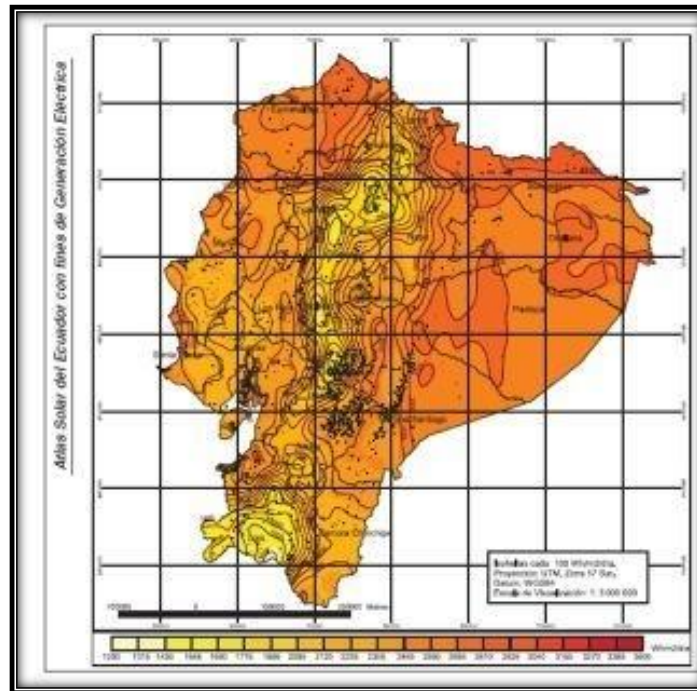
**3.1 Estudio de la radiación solar en el Cantón Guano** (colaboradores de Wikipedia, 2012).

La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere. Esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar, es perpendicular a nuestra superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo de incidencia de la luz solar, varía acorde a las estaciones del año.

Esta ventaja posicional del Ecuador, se traduce en la recepción de una mayor y constante cantidad de radiación solar, misma que varía dentro del territorio nacional únicamente por condiciones climatológicas locales y que varían además de acuerdo a la cercanía o lejanía del Sol. Desde agosto del 2008, el Ecuador cuenta ya con un atlas de radiación solar, desarrollado por la Corporación para la Investigación Energética, en la que se pueden encontrar datos georreferenciados sobre radiación global, difusa y directa en el Ecuador.

Este atlas constituye una importante herramienta para la investigación y desarrollo de proyectos en materia de energía solar.

Figura 17. Atlas radiación solar



Fuente: CONELEC

**3.1.1 Descripción de la Constante solar** (colaboradores de Wikipedia, 2012). La constante solar es la potencia de radiación solar que recibe una unidad de superficie (m<sup>2</sup>), sobre un plano tangente a la esfera imaginaria que forma la capa externa de la atmósfera.

El valor de esta constante es: 1,353 W/m<sup>2</sup>.

Aunque este valor recibe el nombre de “constante solar” no es un valor fijo sino que varía aproximadamente  $\pm 3\%$  en función de las variaciones de la distancia Sol-Tierra.

Aproximadamente, el ojo humano percibe la mitad de la radiación solar que incide en la atmósfera terrestre a través de la banda de frecuencias de la luz visible.

El resto pertenece a bandas que nuestros ojos no pueden captar, principalmente la infrarroja (la radiación asociada a procesos térmicos) y una pequeña componente de luz ultravioleta que presenta longitudes de onda un poco más pequeña que la visible.

**3.1.2 Parámetros de la posición del sol e intensidad de la radiación** (ENALMEX, 2010). La radiación solar es la fuerza constante antes de entrar en la atmósfera en cambio, una vez traspasada la franja de aire que nos rodea, la radiación medida a nivel del mar desciende fuertemente en función, principalmente, de dos parámetros: el espesor de la atmósfera atravesada y la climatología reinante.

Por lo que no se pueden hacer predicciones fiables que nos permitan evaluar la radiación incidente para cualquier época del año; en cambio, a través del estudio de la geometría solar se puede conocer con gran exactitud la posición del sol en cualquier día del año y en cualquier momento del día, con lo que se puede evaluar los ángulos de incidencia de la radiación, por lo tanto, el comportamiento de las sombras proyectadas por objetos, que junto con las medidas de radiación efectuadas, se obtiene la base de los cálculos solares.

**3.1.2.1 Orientación.** Es preferible orientar los captadores hacia el sur geográfico permitiendo un desvío de  $\pm 25^\circ$  y preferentemente este desvío sea hacia el oeste.

En nuestro caso, colocaremos los captadores sobre el techo de la sala de vestuarios, donde le daremos una inclinación para conseguir un mayor rendimiento así como poder orientarlos totalmente al sur.

Debido a que la superficie es elevada esto no nos ocasionará pérdidas por sombras de captador a captador.

**3.1.2.2 Determinación del Sur geográfico.** La determinación de la dirección del Sur geográfico es de esencial importancia siempre que tratemos de energía solar, pues de cara a la captación energética, las superficies que miran a él son las más favorecidas, al recibir la radiación durante el máximo número de horas.

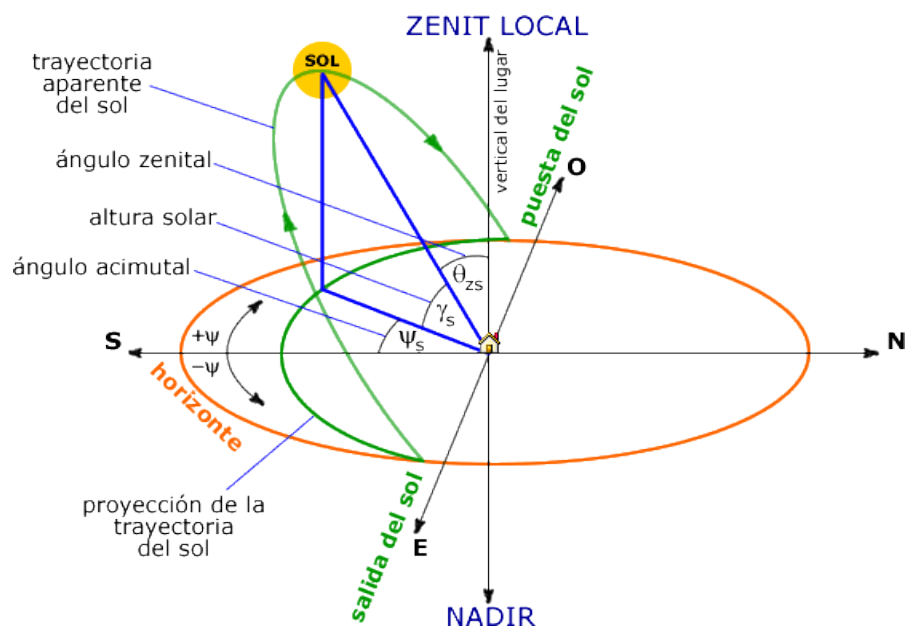
Existen multitud de métodos para determinar el espacio geográfico en el que se encuentra la dirección Sur.

El verdín en el tronco de los árboles nos indica la zona más húmeda y menos soleada, por tanto el Norte. Siempre se nos ha dicho que el sol sale por el Este y se pone por el Oeste, y que si con el brazo izquierdo apuntamos al Este y con el derecho al Oeste, mirando al sitio por donde pasa el sol, la punta de la nariz nos indica la dirección del sur. La brújula nos indica la dirección norte-sur, sólo que el Norte magnético está desviado respecto del geográfico unos 4 grados al Este. Para determinar con precisión la dirección norte-sur podemos ayudarnos de nuestros conocimientos de posición solar.

Sabemos que a las 12 horas el sol se encuentra siempre en su punto más alto y contenido en el plano perpendicular al plano del horizonte (plano meridiano) que contiene al eje norte-sur.

Por ello, la sombra de una varilla perpendicular al plano del horizonte nos indica la dirección norte-sur y apunta hacia el Norte, encontrándose el Sur en la dirección contraria.

Figura 18. Sur geográfico



Fuente: Kondratiev "Radiation in the atmosphere"

### **Determinación de la inclinación óptima del panel solar para un día concreto.**

Calcular el valor óptimo de  $\beta$  para la fecha actual, teniendo en cuenta la fórmula aproximada de Cooper para la declinación.

$$\beta = 23,45 \text{ sen } (280,11 + 0,986 n) \quad (10)$$

Siendo  $\beta$  el ángulo del panel con el suelo y  $n$  el número del día del año (del 1 a 365).

Inclinación óptima del captador para una estación determinada.

$$\beta = L - \delta \quad (11)$$

Dónde:

$\beta$  = Inclinación del captador.

$L$  = Latitud del lugar geográfico en el que nos encontramos.

$\delta$  = Desviación del eje de la tierra (desde  $-23,45^\circ$  a  $+23,45^\circ$ )

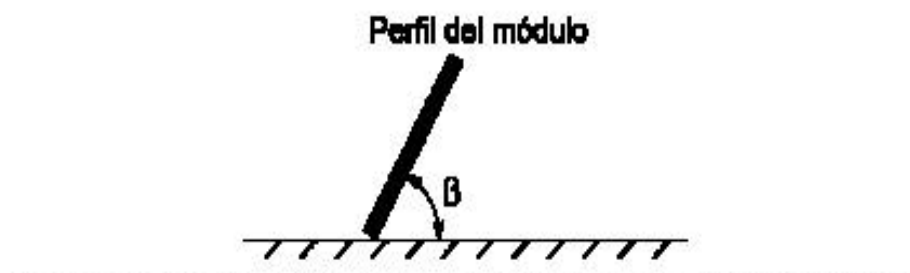
La mejor inclinación del captador respecto de la superficie terrestre,  $\beta_{opt}$ , depende del período de utilización, de forma que la normativa establece que deberá elegirse uno de los valores siguientes, en función de las tres condiciones siguientes:

Consumo constante anual: la latitud geográfica

Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica +  $10^\circ$

Consumo preferente en verano: la latitud geográfica -  $10^\circ$

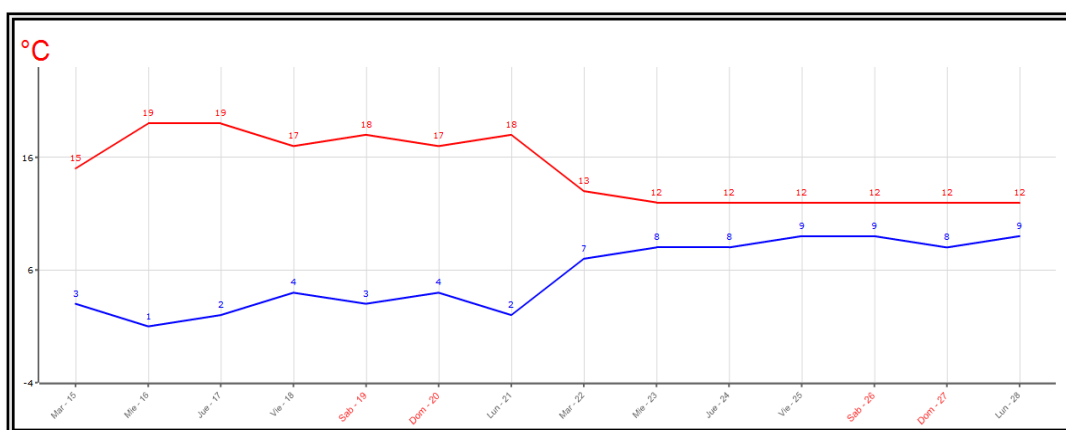
Figura 19. Ángulo de inclinación del captador respecto de la horizontal



Fuente: Manual de radiación solar F. Gonzales

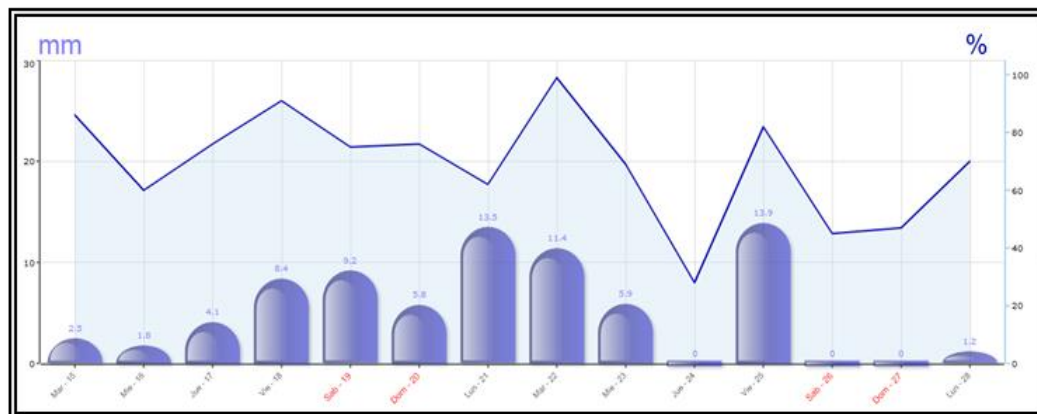
### 3.1.3 Análisis de la variabilidad de los parámetros climatológicos y atmosféricos (Centro meteorológico ESPOCH, 2010-2011-2012).

Figura 20. Temperaturas máximas y mínimas



Fuente: Centro meteorológico ESPOCH

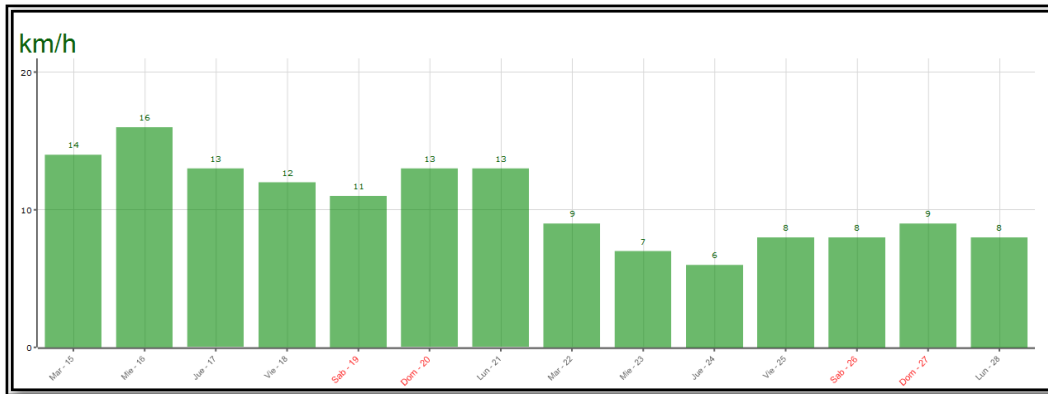
Figura 21. Precipitación – Nubosidad



Fuente: Centro meteorológico ESPOCH

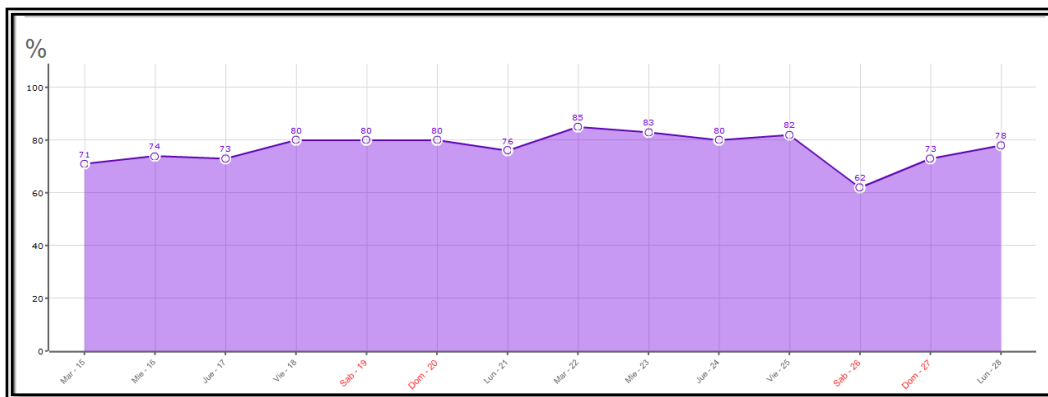


Figura 22. Velocidad del Viento



Fuente: Centro meteorológico ESPOCH

Figura 23. Humedad Relativa



Fuente: Centro meteorológico ESPOCH

### 3.2 Descripción de los componentes de la radiación

Existen diversas fuentes de referencia en torno a las variables consideradas para el dimensionamiento de sistemas solares, por lo que con fines de homologación se tiene a la norma UNE 94003:2007, al no existir una norma oficial.

Y si bien es cierto que la intensidad de la radiación solar es medida por distintas estaciones privadas, o pertenecientes a algunos organismos públicos, es necesario admitir que el equipamiento existente no es uniforme, que los equipos la mayoría de las veces no son calibrados en tiempo y forma necesario, que la información no es

procesada regularmente ni está centralizada, siendo asistemática en muchas ocasiones la toma de datos.

También se debe tomar en cuenta que las estaciones de medición se encuentran situadas la mayoría de las veces en las vecindades de núcleos de apreciable densidad poblacional, careciéndose de datos correspondientes a zonas aisladas.

Es así que queda de manifiesto la magnitud del problema: se mide poco, sin coordinación, de manera no sistemática, y no se los hace en los lugares en los cuales la necesidad del empleo de energías alternativas es indispensable para impulsar el desarrollo y romper el aislamiento.

Este panorama parece difícilmente reversible en el mediano plazo. El mantenimiento de redes extensas, el procesamiento de datos, y la calibración regular de decenas de equipos, no es factible de lograrse en corto tiempo, aun contando con el financiamiento necesario para hacerlo.

Por otro lado, la necesidad creciente de contar con datos de energía solar para el desarrollo de múltiples actividades (secado solar, generación eléctrica, evaluación de agua disponible en suelo, estimación del rendimiento de cosechas, calentamiento de agua, etc.) es una realidad innegable.

Existen alternativas para lograr obtener la información buscada empleando pequeñas redes de medición e imágenes satelitales. Con ese objetivo se han desarrollado algoritmos diversos para evaluar la radiación solar incidente a nivel de la superficie terrestre. Los métodos utilizados pueden separarse a grandes rasgos en dos: Físicos y Estadísticos.

Mientras que los métodos físicos modelan la interacción de la radiación solar con la atmósfera, introduciendo parámetros asociados con la absorción, reflexión y scattering, los modelos estadísticos evalúan la radiación solar en función del brillo del píxel de la imagen satelital, ajustando las constantes del modelo en base a datos obtenidos de mediciones en tierra.

Los modelos físicos en general necesitan de datos referentes a las condiciones atmosféricas (agua precipitable, ozono, tamaño de aerosoles, etc.). Esto no ocurre con los modelos estadísticos que, en cambio, requieren un ajuste con las mediciones realizadas en superficie.

Un conocido modelo estadístico es el modelo de Tarpley (1 979). Dicho modelo evalúa la radiación solar en la superficie terrestre empleando imágenes obtenidas por sensores que operan en la banda visible del espectro electromagnético.

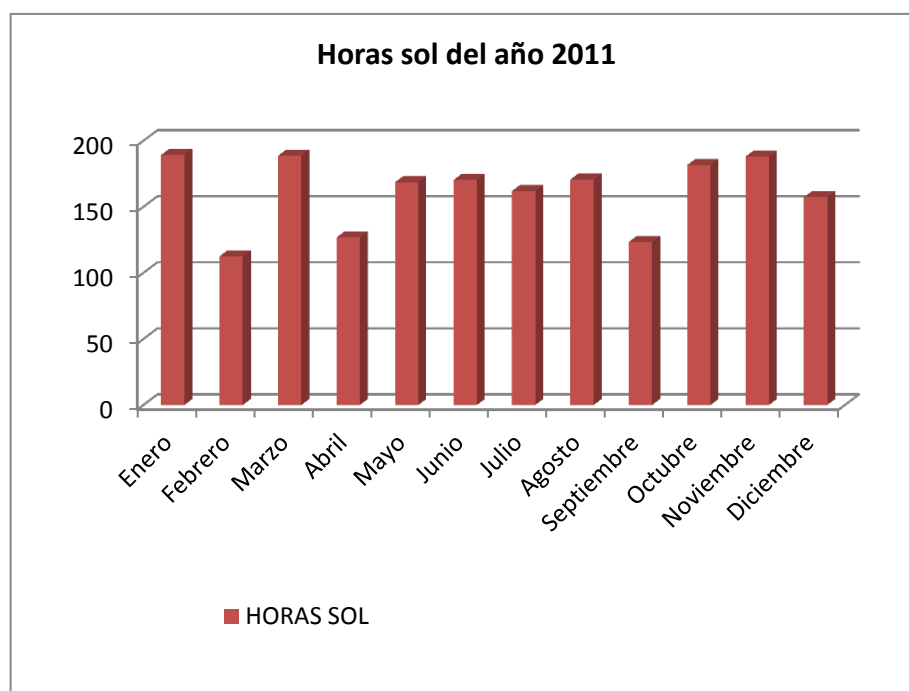
Este modelo necesita de varias imágenes diarias para estimar la radiación diaria, por lo que se emplean imágenes brindadas por un satélite geostacionario. El satélite geostacionario GOES 8 brinda imágenes del continente americano, su frecuencia de muestreo es de aproximadamente 30 minutos, y la resolución espacial es de 1 km en el nadir del satélite.

Tabla 8. Media-horas sol año 2011

<b>Meses</b>	<b>Horas sol</b>	<b>Media-horas sol</b>	<b>Media</b>
Enero	189,2	6,1	50,7
Febrero	112,5	4,0	34,1
Marzo	188,7	6,1	50,6
Abril	126,8	4,5	37,7
Mayo	168,6	5,4	45,7
Junio	170,3	5,7	45,7
Julio	162	6,5	43,7
Agosto	170,7	7,1	59,2
Septiembre	123,4	4,0	33,2
Octubre	181,6	7,3	59,8
Noviembre	188,1	6,3	52,5
Diciembre	157,3	5,4	42,3
<b>Suma</b>	<b>1 939,2</b>	<b>68,4</b>	<b>555,2</b>
<b>Media</b>	<b>161,6</b>	<b>5,7</b>	<b>46,3</b>

Fuente: Centro meteorológico ESPOCH

Figura 24. Horas sol



Fuente: Autor

A continuación se describen las variables que se utilizaron para calcular la radiación global, los componentes directo y difuso, así como el de su variación horaria en el transcurso del día.

- **Radiación:** Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se expresa en  $\text{MJ/m}^2$  o  $\text{kWh/m}^2$ .
- **Radiación solar global:** Radiación solar hemisférica recibida en un plano horizontal.
- **Irradiancia solar:** Potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en  $\text{W/m}^2$ .
- **Latitud geográfica del lugar de interés ( $\Phi$ ):** Se define como latitud al ángulo comprendido entre  $+90^\circ$  y  $-90^\circ$ , el mismo que está formado entre la línea ecuatorial y el paralelo que atraviesa al lugar de interés. ( $\Phi [^\circ] = -1,668$ ).

- **Distancia tierra sol y factor de distancia ( $\xi$ ):** Dada la órbita elíptica de la tierra alrededor del sol, la distancia entre estos dos cuerpos es variable. Es lógico suponer que a mayor distancia menos irradiancia solar llegara a la tierra y a menor distancia mayor será el flujo de energía proveniente del sol.

$$\xi_0 = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{6,283 d_r}{365}\right) \quad (12)$$

Dónde:

$d_r$ = Es el día del año, siendo el día uno el primero de enero.

Tabla 9. Número medio de horas diarias de sol útiles para latitudes comprendidas entre 45 grados de latitud norte y 45 grados de latitud sur

Mes	Latitud geográfica ( $\varphi$ )		
	$-45^\circ < \varphi < -25^\circ$	$-25^\circ < \varphi < 25^\circ$	$25^\circ < \varphi < 45^\circ$
Enero	9,5	8,75	8
Febrero	9,5	9,25	9
Marzo	9	9,5	9
Abril	9	9,25	9,5
Mayo	8	8,75	9,5
Junio	7,5	8,5	9,5
Julio	8	8,75	9,5
Agosto	9	9,25	9,5
Septiembre	9	9,5	9
Octubre	9,5	9,25	9
Noviembre	9,5	8,75	8
Diciembre	9,5	8,5	7,5

Fuente: CENSOL versión 5.0.

Tabla 10. Factor de distancia ( $\xi$ )

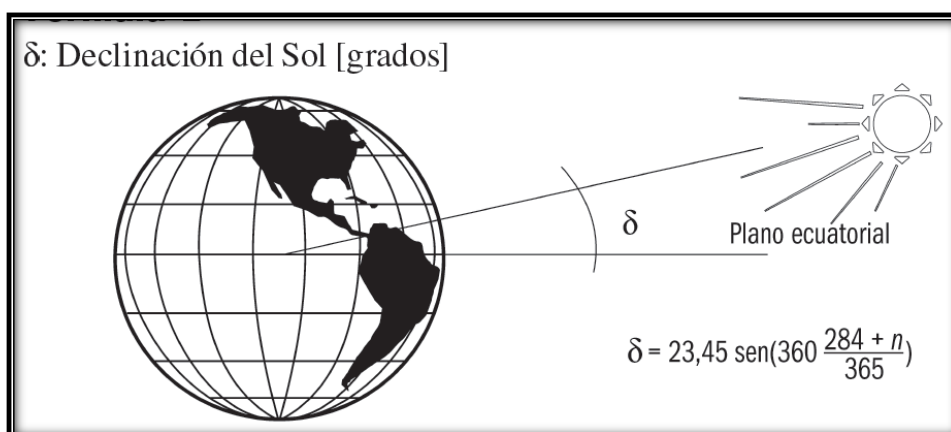
Mes	$\xi_0$
Enero	1,032
Febrero	1,024
Marzo	1,009
Abril	0,992
Mayo	0,977
Junio	0,968
Julio	0,968
Agosto	0,976
Septiembre	0,991
Octubre	1,008
Noviembre	1,023
Diciembre	1,032

Fuente: Manual de radiación solar F. Gonzales

- **Ángulo de declinación solar ( $\delta$ )** ( SOL-ARQ, Soluciones arquitectónicas sustentables, 2011):

Es el ángulo formado entre la normal al plano que contiene a la órbita terrestre y el eje de rotación de la tierra, este valor varía según el día del año, este ángulo es conocido como declinación solar su valor oscila entre  $+23.5^\circ$  y  $-23.5^\circ$  pasando por cero en los equinoccios.

Figura 25. Ángulo de declinación solar



Fuente: Manual de radiación solar F. Gonzales

Para determinar el valor de este ángulo en radianes, según el día del año se utiliza la siguiente relación.

$$\delta = \frac{23.45\pi}{180} \sin\left(\frac{6,283d_r+284}{365}\right) \quad (13)$$

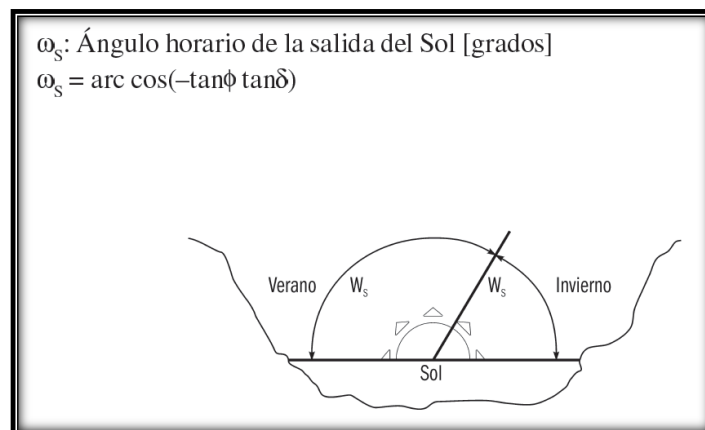
Tabla 11. Ángulo de declinación solar ( $\delta$ )

Mes	$\delta$	
	[rad]	[°]
Enero	-0,37	-21,3
Febrero	-0,24	-13,6
Marzo	-0,04	-2,41
Abril	0,164	9,4
Mayo	0,328	18,79
Junio	0,407	23,32
Julio	0,376	21,54
Agosto	0,241	13,81
Septiembre	0,039	2,23
Octubre	-0,17	-9,63
Noviembre	-0,33	-19,1
Diciembre	-0,41	-23,3

Fuente: Autor

- **Ángulo de puesta del sol ( $\omega_s$ )** (SIERRA, 2010): La tierra hace un recorrido angular de  $360^\circ$  cada 24 horas esto significa que en una hora barre un ángulo de  $15^\circ$ , el ángulo de puesta del sol corresponde a la distancia angular entre el medio día solar y el momento en el que el sol se oculta por el horizonte.

Figura 26. Ángulo de puesta del sol



Fuente: Manual de radiación solar F. Gonzales

Este ángulo varía según el día del año y se calcula utilizando la siguiente relación:

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi) \quad (14)$$

Tabla 12. Ángulo de puesta del sol ( $w_s$ )

Mes	ws	
	[°]	[rad]
Enero	90,642	1,582
Febrero	90,413	1,578
Marzo	90,069	1,572
Abril	89,725	1,566
Mayo	89,439	1,561
Junio	89,267	1,558
Julio	89,324	1,559
Agosto	89,611	1,564
Septiembre	89,954	1,57
Octubre	90,298	1,576
Noviembre	90,585	1,581
Diciembre	90,699	1,583

Fuente: Autor

- **Constante solar ( $\beta_0$ ):** Si se considera un plano perpendicular a los rayos solares, situado a una unidad astronómica del sol la cantidad de energía que incidente sobre él se denomina constante de radiación solar ( $\beta_0$ ), siendo una unidad astronómica igual a la distancia media entre el sol y la tierra. ( $\beta_0$  [kW/m<sup>2</sup>] = 1,367).

**3.2.1 Radiación solar extraterrestre  $I_0$  (OCW UNIA).** La estimación de la radiación solar en lugares sin estaciones es uno de los problemas más difíciles que se plantean en el estudio de la disponibilidad de la energía solar.

Se considera conveniente la estimación empleando la información de las estaciones más próximas mediante la elaboración de un promedio ponderado.



El empleo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales para evaluar el recurso solar lleva más de treinta años. Una revisión crítica de estos métodos puede encontrarse en Noia et al (1993).

Existen varios investigadores que han desarrollado algoritmos empleando satélites geoestacionarios. Entre otros podemos citar a Gautier et al (1980), Moser (1984) y al propio Tarpley (1979), usando observaciones horarias del satélite GOES y 8700 piranómetros, desarrolló su método para localidades donde no existían datos sobre las diferentes variables en el estudio de la radiación solar.

Compararon los datos obtenidos por la aplicación del algoritmo con datos de estaciones piranométricas del país. El modelo aplicado por Tarpley empleaba los coeficientes de ajuste obtenidos para las distintas localidades. En esa ocasión se encontraron errores del orden del 15 % para valores diarios. Los errores se situaban entre el 5 y el 10% cuando se trabajaba con valores medios mensuales.

Para la aplicación de estos modelos tomamos como punto de partida la radiación global extraterrestre  $I_0$  que se define como la cantidad de energía recibida en la parte exterior de la atmósfera, por unidad de superficie.

Como se ha visto será función, en cada momento, de la distancia sol tierra, de la declinación, de la latitud del lugar considerado y del ángulo horario. La irradiancia extraterrestre en una superficie horizontal es:

$$I_0 = \beta_0 \xi_0 (\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos W) \quad (15)$$

**3.2.1.1 Radiación extraterrestre incidente sobre superficie horizontal.** Se define como la cantidad de energía recibida en la parte exterior de la atmósfera, por unidad de superficie, la cual será función, en cada momento, de la distancia sol tierra, de la declinación, de la latitud del lugar considerado y del ángulo horario.

**3.2.1.2 Radiación extraterrestre diaria sobre superficie horizontal.** La irradiancia extraterrestre en una superficie horizontal es:

$$I_0 = \beta_0 \xi_0 (\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi W) \quad (16)$$

Durante un periodo de tiempo dt:

$$dI_0 = \beta_0 \xi_0 (\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos w) dt \quad (17)$$

La tierra gira 360° en un día entonces el tiempo en horas se puede convertir en ángulo horario según la expresión:

$$\frac{2\pi}{24} = \frac{dw}{dt} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{h}} \right] \quad (18)$$

$$dt = \frac{12}{\pi} dw \quad (19)$$

La (ecuación 17) quedará:

$$dI_0 = \frac{12}{\pi} \beta_0 \xi_0 (\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos w) dw \quad (20)$$

Integrando para una hora, centrada en w (wi-p/24, wi+p/24):

$$I_{oh} = I_{sc} E_0 (\sin \delta * \sin \phi + \cos \delta * \cos \phi * \cos \omega_i) \quad (21)$$

Integrando para un día, entre el ángulo de salida y el de puesta del sol, (-ws,+ws):

$$I_{od} = \frac{12}{\pi} \beta_0 \xi_0 \int_{-w_s}^{+w_s} (\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos w) dw \quad (22)$$

Desarrollando la integral:

$$I_{od} = \left(\frac{24}{\pi}\right)(B_0)(\xi_0)(\cos \phi \cos \delta \sin W_s + W_s \sin \phi \sin \delta) \quad (23)$$

Obteniendo los valores de la Radiación extraterrestre diaria media mensual sobre superficie horizontal  $I_{odm}$  al considerar el día central de cada mes y las variables que intervienen en la ecuación (23).

**Tabla 13.** Radiación extraterrestre diaria media mensual sobre superficie horizontal para la ciudad de Riobamba ( $MJ/m^2$ )

Mes	Día central	$I_{odm}$
Enero	15	36,79
Febrero	45	37,81
Marzo	75	37,96
Abril	105	36,50
Mayo	135	34,22
Junio	166	32,75
Julio	196	33,23
Agosto	227	35,22
Septiembre	258	37,15
Octubre	288	37,64
Noviembre	319	36,9
Diciembre	349	36,32

Fuente: Autor

**3.2.2 Radiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal ( $G_{dm}$ )** (OCW UNIA). Parte de la radiación directa incidente se transforma en difusa o radiación sin ninguna dirección preferencial, debido a este fenómeno de dispersión, el cual se debe a la presencia en la atmósfera de vapor de agua, moléculas que componen el aire y partículas de polvo. Otra parte de la radiación solar es absorbida en la atmósfera.

La absorción ultravioleta se debe predominantemente al ozono, la de infrarrojo al vapor de agua y dióxido de carbono, y la del visible nuevamente al ozono.

Como resultado de la interacción con la atmosfera, la radiación solar recibida sobre una superficie horizontal terrestre se compone de radiación solar directa, radiación solar difusa y radiación solar reflejada cuya sumatoria de las 3 nos da la radiación solar global. El total de radiación global procedente del sol que incide en una superficie en la tierra estará compuesto por:

$$G_{dm} = I_{dm} + D_{dm} + R_{dm} \quad (24)$$

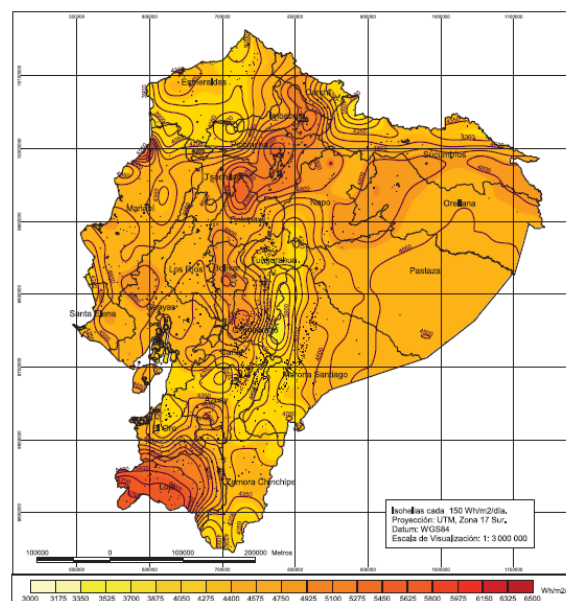
Dónde:

$I_{dm}$  = Radiación directa media mensual sobre superficie horizontal.

$D_{dm}$  = Radiación difusa media mensual sobre superficie horizontal.

$R_{dm}$  = Radiación reflejada media mensual sobre superficie horizontal.

Figura 27. Radiación global



Fuente: CONELEC

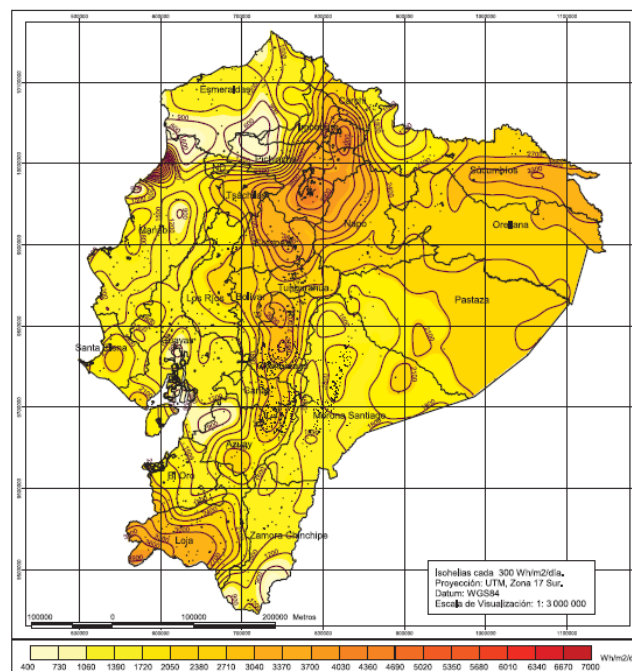
Tabla 13. Radiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal para la ciudad de Riobamba (MJ/m<sup>2</sup>).

Mes	$G_{dm}$
Enero	24,5
Febrero	22,7
Marzo	27,4
Abril	27,4
Mayo	26,7
Junio	22,4
Julio	25,1
Agosto	25,7
Septiembre	23,6
Octubre	25,9
Noviembre	16,5
Diciembre	25,2

Fuente: CENSOL versión 5.0.

**3.2.2.1 Radiación directa media mensual sobre superficie horizontal ( $I_{dm}$ ).** Es aquella que llega a la tierra directamente en línea con el disco solar. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. Se obtiene a partir de la (ecuación 24).

Figura 28. Radiación directa



Fuente: CONELEC

Tabla 14. Radiación directa media mensual sobre superficie horizontal para la ciudad de Riobamba (MJ/m<sup>2</sup>).

Mes	$G_{dm}$	$D_{dm}$	$I_{dm}$
Enero	24,5	5,95	18,55
Febrero	22,7	7,31	15,39
Marzo	27,4	5,11	22,29
Abril	27,4	4,18	23,22
Mayo	26,7	3,17	23,53
Junio	22,4	5,19	17,21
Julio	25,1	3,54	21,56
Agosto	25,7	4,5	21,2
Septiembre	23,6	6,53	17,07
Octubre	25,9	5,71	20,19
Noviembre	16,5	8,11	8,39
Diciembre	25,2	5,55	19,65

Fuente: Autor

**3.2.2.2 Radiación difusa media mensual sobre superficie horizontal ( $D_{dm}$ ).** Originada por los efectos de dispersión de las componentes de la atmósfera, incluidas las nubes.

Una parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, llamada difusa, va en todas direcciones, efecto producido por las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.

Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad. Ésta expresión ha sido repetidamente identificada como la que, en general, proporciona los mejores resultados:

$$\frac{D_{dm}}{k_{dm}} = -0,13G_{dm} \quad (25)$$

Dónde:

$k_{dm}$  = Es el índice de transparencia diario medio mensual.

Este índice es una medida de lo “transparente” que es la atmósfera a la radiación solar. Fundamentalmente, da información de cuánta radiación alcanza la superficie de la tierra en función de la radiación extraterrestre (o radiación que hay antes de iniciar su paso a través de la atmósfera).

En días claros, los valores de este índice serán elevados (por encima de 0,8) y en días nublados pueden llegar a ser muy bajos (incluso por debajo de 0,1). Un valor alto, por ejemplo 0,8, indica que el 80% de la radiación que había en el exterior de la atmósfera ha alcanzado la superficie de la tierra.

El índice de transparencia atmosférico diario medio mensual ( $k_{dm}$ ), está dado por:

$$K_{dm} = \frac{G_{dm}}{I_{odm}} \quad (26)$$

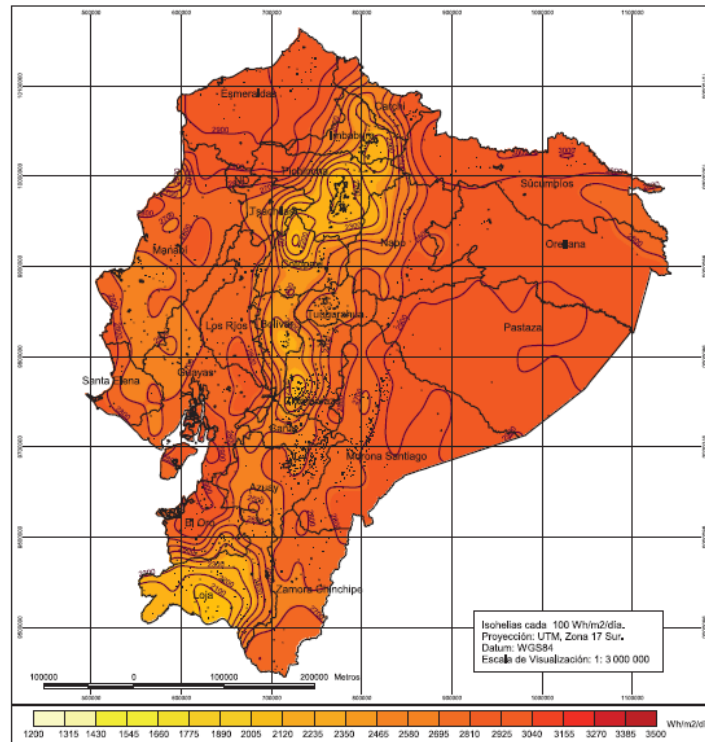
Tabla 15. Índice de transparencia atmosférica diaria media mensual para la ciudad de Riobamba

Mes	$G_{dm}$	$I_{odm}$	$K_{dm}$
Enero	24,5	36,79	0,67
Febrero	22,7	37,81	0,6
Marzo	27,4	37,96	0,72
Abril	27,4	36,5	0,75
Mayo	26,7	34,22	0,78
Junio	22,4	32,75	0,68
Julio	25,1	33,23	0,76
Agosto	25,7	35,22	0,73
Septiembre	23,6	37,15	0,64
Octubre	25,9	37,64	0,69
Noviembre	16,5	36,9	0,45
Diciembre	25,2	36,32	0,69

Fuente: Autor

Según la (ecuación 25) obtenemos los valores para radiación difusa  $D_{dm}$ .

Figura 29 . Radiación difusa



Fuente: CONELEC

Tabla 16. Radiación difusa media mensual sobre superficie horizontal para la ciudad de Riobamba ( $MJ/m^2$ ).

Mes	Día central	$K_{dm}$	$D_{dm}$
Enero	15	0,65	6,32
Febrero	45	0,6	7,31
Marzo	75	0,72	5,11
Abril	105	0,75	4,18
Mayo	135	0,78	3,17
Junio	166	0,68	5,19
Julio	196	0,76	3,54
Agosto	227	0,73	4,5
Septiembre	258	0,64	6,53
Octubre	288	0,69	5,71
Noviembre	319	0,45	8,11
Diciembre	349	0,69	5,55

Fuente: Autor

**3.2.2.3 Radiación reflejada media mensual sobre superficie horizontal ( $R_{dm}$ ).** La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie

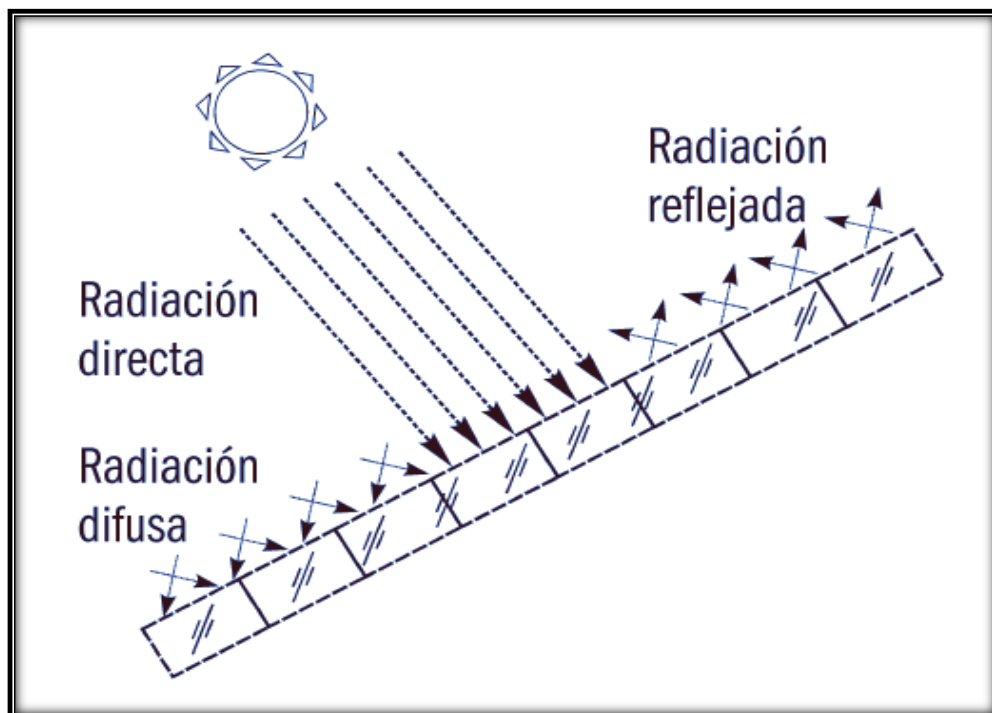


terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

**3.2.3 Radiación global diaria media mensual sobre superficie inclinada  $G_{dm\beta}$**  (CORPOEMA, Corporación para la energía y el medio ambiente, 2010). Para la determinación de la radiación global solar sobre superficies inclinadas, partimos del conocimiento de la radiación global sobre una superficie horizontal.

En la (ecuación 27) se expresa a la radiación global como la suma de las irradiaciones directa, difusa y reflejada.

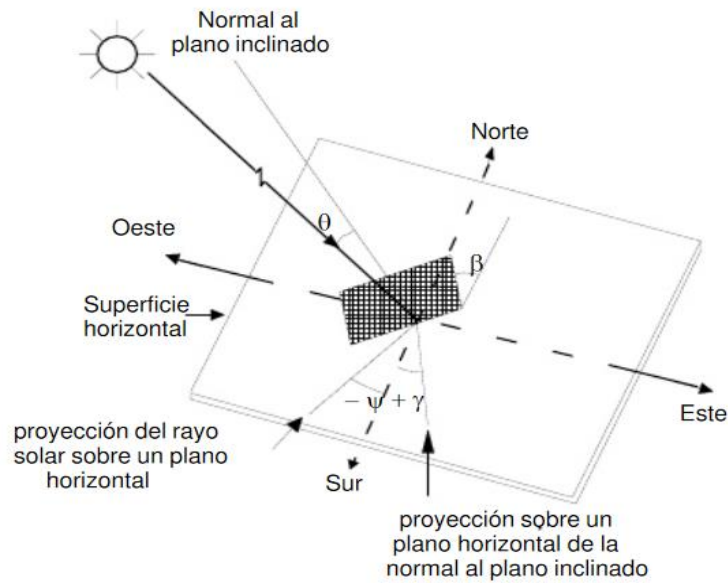
Figura 30. Radiación global absorbida



Fuente: Kondratiev "Radiation in the atmosphere".

Teniendo en cuenta las consideraciones hechas para calcular los ángulos en una superficie inclinada, las expresiones que permiten calcular el valor de radiación extraterrestre sobre superficie inclinada quedarán:

Figura 31. Posición del sol respecto a un plano inclinado



Fuente: Kondratiev "Radiation in the atmosphere"

$$G_{dm\beta} = I_{dm\beta} + D_{dm\beta} + R_{dm\beta} \quad (27)$$

Dónde:

- $I_{dm\beta}$  = Radiación directa media mensual sobre superficie inclinada.
- $D_{dm\beta}$  = Radiación difusa media mensual sobre superficie inclinada.
- $R_{dm\beta}$  = Radiación reflejada media mensual sobre superficie inclinada.

**3.2.3.1 Radiación directa media mensual sobre superficie inclinada ( $I_{dm\beta}$ ).** Es igual a la radiación directa incidente sobre un plano horizontal modificado por un factor geométrico que estará en función de la inclinación de la superficie, la latitud del lugar de interés, el ángulo de declinación y puesto del sol.

En la (ecuación 28) se muestra la relación empleada para determinar el factor geométrico ( $R_b$ ).

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin W_s'' + W_s'' \cdot \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin W_s + W_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (28)$$

Dónde:

- $\beta$  = Ángulo de inclinación de la superficie captadora.
- $W_s''$  = Ángulo de puesta del sol para una superficie inclinada.

Tabla 17. Valores de Rb

De	a	Rb
7	8	2,14
8	9	1,60
9	10	1,44
10	11	1,38
11	12	1,36
12	13	1,36
13	14	1,38
14	15	1,44
15	16	1,60
16	17	2,14

Fuente: Kondratiev "Radiation in the atmosphere"

$$W_s'' = \text{MIN}[W_s, \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan \delta)] \quad (29)$$

La relación empleada para determinar el valor de radiación directa media mensual sobre superficie inclinada está dada por:

$$I_{dm\beta} = (R_b)(I_{dm}) \quad (30)$$

**3.2.3.2 Radiación difusa media mensual sobre superficie inclinada ( $D_{dm\beta}$ ).** Para calcular la radiación difusa procedente del cielo, se ha venido utilizando por muchos autores, un modelo que consiste en suponer que la irradiancia del cielo es isotrópica, es decir, que cada punto de la bóveda celeste emite con idéntica irradiancia.

Estudios experimentales han puesto de manifiesto que el modelo, conocido como modelo isotrópico, subestima de forma sistemática la radiación difusa que incide sobre superficies inclinadas.

Diversos autores han propuesto modelos anisotrópicos más o menos sofisticados para el tratamiento de la radiación difusa.

La validez de estos modelos ha sido analizada por diversos autores, comparando valores calculados con los medidos experimentalmente. Todos concluyen que estos modelos son significativamente más precisos que el modelo isotrópico.

En este trabajo, se usará el modelo anisotrópico propuesto por el investigador Hay, este modelo ha sido el adoptado para la preparación de un Atlas Europeo de radiación sobre superficies inclinadas, ya que representa un excelente compromiso entre sencillez, precisión y generalidad.

Según Hay, la radiación difusa que incide en una superficie tiene una componente circunsolar, la que llega directamente en la dirección del sol, y una componente difusa de carácter isotrópico procedente del resto del cielo.

Estas dos componentes dependen de la relación entre la radiación directa incidente en una superficie y la radiación extraterrestre. La expresión que propone Hay es la siguiente:

$$D_{dm\beta} = D_{dm} \left( \frac{I_{dm}}{I_{odm}} \cdot R_b + \frac{1+\cos\beta}{2} \cdot \frac{1-I_{dm}}{I_{odm}} \right) \quad (31)$$

**3.2.3.3 Radiación reflejada media mensual sobre superficie inclinada ( $R_{dm\beta}$ ).** La radiación reflejada que incide sobre una superficie inclinada se puede calcular suponiendo una reflexión isotrópica o anisotrópica.

La baja reflectividad de la mayoría de los suelos naturales, excepto la nieve, hace que la contribución de este parámetro a la radiación global sea generalmente muy pequeña.

En estos casos, es más sencillo suponer un comportamiento isotrópico, lo que nos permite calcular este término mediante la expresión:

$$R_{dm\beta} = \frac{(G_{dm\rho})(1-\cos\beta)}{2} \quad (32)$$

Dónde:

$\rho$  = Es el alabeo de la superficie reflectora.

Es recomendable para instalaciones térmicas tomar un valor de  $\rho = 0,2$

Tabla 18. Radiación global diaria media mensual sobre superficie inclinada a 5° para la ciudad de Riobamba (MJ/m<sup>2</sup>)

Mes	$G_{dm\beta}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$G_{dm\beta}$ (Wh/m <sup>2</sup> )
Enero	25,49	7 080,56
Febrero	23,20	6 444,44
Marzo	27,38	7 605,56
Abril	26,66	7 405,56
Mayo	25,34	7 038,89
Junio	21,11	5 863,89
Julio	23,68	6 577,78
Agosto	24,75	6 875,00
Septiembre	23,37	6 491,67
Octubre	26,30	7 305,56
Noviembre	16,91	4 697,22
Diciembre	26,38	7 327,78

Fuente: Autor

### 3.3 Eficiencia del colector (Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria, 2004).

La eficiencia de la instalación se refiere sólo a la parte solar de la misma, para determinar la eficiencia del colector solar se emplea la siguiente ecuación característica, los valores de  $a_1$  y  $a_2$  son valores intrínsecos del colector seleccionado.

$$\eta = b - a_1 X + \frac{a_2 * G_{dm\beta} * x^2}{H_{sol}} \quad (33)$$

Dónde:

$b$  = Es una constante igual a 0,717.

$H_{sol}$  = Horas de sol diarias para el día central de cada mes en la localidad de interés.

$a_1$  = Coeficiente de pérdidas primarias =  $a_1 = 0,89 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

$a_2$  = Coeficiente de pérdidas secundarias =  $a_2 = 0,001 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C^2}$

Valor de  $x$ :

$$X = \frac{(T_{ref} - T_{ambY})}{G_{dm\beta} / H_{sol}} \quad (34)$$

**3.3.1 Corrección de la temperatura para localidades distintas a la toma de datos** (Energía Solar Térmica, 2007). Para la determinación de la  $T_{ambCP}$  y  $T_{ambY}$  para cualquier cantón, parroquia o comunidad la temperatura ambiente diaria media mensual ( $T_{ambY}$ ) se debe obtener a partir de la temperatura ambiente diaria media mensual de su capital de su provincia ( $T_{ambCP}$ ) aplicando la expresión:

$$T_{ambY} = T_{ambCP} - (B)(\Delta z) \quad (35)$$

$\Delta z$  = Es la diferencia de altura, expresada en metros, entre la localidad Y y la altura de referencia de la capital de la provincia de dicha localidad, la diferencia de altura será positiva si la localidad Y está a mayor altura que su capital.

B = Es una constante que toma los valores:

B = 0,005 Para los meses de abril a septiembre.

B = 0,010 Para los meses de octubre a marzo.

$\Delta z$  = (Altura Guano metros: 2 728 m.s.n.m.) - (Altura Riobamba: 2 754 m.s.n.m.)

$\Delta z$  = -26 m.s.n.m.

Tabla 19. Temperatura ambiente (°C) diaria media mensual para el cantón Guano sector Los Elenes

Mes	$T_{ambCP}$	B	$\Delta z$	$T_{ambY}$
Enero	13	0,005	-26	13,13
Febrero	13	0,005	-26	13,13
Marzo	13	0,010	-26	13,26
Abril	13	0,010	-26	13,26
Mayo	13	0,010	-26	13,26
Junio	12	0,010	-26	12,26
Julio	12	0,010	-26	12,26
Agosto	12	0,010	-26	12,26
Septiembre	12	0,010	-26	12,26
Octubre	13	0,010	-26	13,26
Noviembre	14	0,005	-26	14,13
Diciembre	13	0,005	-26	13,13

Fuente: Autor

También existen datos de la temperatura promedio mensual del cantón Guano. Según la (ecuación 34) obtenemos los valores de la variable x:

Tabla 20. Valores de la variable x

Mes	$T_{ref}$	$T_{ambY}$	$H_{sol}$	$G_{dm\beta}$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$\frac{G_{dm\beta}}{H_{sol}}$ (W/m <sup>2</sup> )	X
Enero	25	13,13	6,1	7080,56	4,179	<b>0,010</b>
Febrero	25	13,13	4,0	6444,44	5,800	<b>0,007</b>
Marzo	25	13,26	6,1	7605,56	4,489	<b>0,009</b>
Abril	25	13,26	4,5	7405,56	5,924	<b>0,007</b>
Mayo	25	13,26	5,4	7038,89	4,693	<b>0,009</b>
Junio	25	12,26	5,7	5863,89	3,704	<b>0,012</b>
Julio	25	12,26	6,5	6577,78	3,643	<b>0,013</b>
Agosto	25	12,26	7,1	6875,00	3,486	<b>0,013</b>
Septiembre	25	12,26	4,0	6491,67	5,843	<b>0,008</b>
Octubre	25	13,26	7,3	7305,56	3,603	<b>0,012</b>
Noviembre	25	14,13	6,3	4697,22	2,684	<b>0,015</b>
Diciembre	25	13,13	5,4	7327,78	4,885	<b>0,009</b>

Fuente: Autor

Según la (ecuación 36) obtenemos los valores de  $\eta$ .

Tabla 21. Rendimiento térmico diario medio mensual del captador solar (Energía Solar Térmica, 2007).

Mes	b	a1	a2	x	$G_{dm\beta}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$H_{sol}$	$\eta$
Enero	0,717	0,89	0,001	0,010	25,49	6,1	<b>0,708</b>
Febrero	0,717	0,89	0,001	0,007	23,2	4,0	<b>0,710</b>
Marzo	0,717	0,89	0,001	0,009	27,38	6,1	<b>0,709</b>
Abril	0,717	0,89	0,001	0,007	26,66	4,5	<b>0,711</b>
Mayo	0,717	0,89	0,001	0,009	25,34	5,4	<b>0,709</b>
Junio	0,717	0,89	0,001	0,012	21,11	5,7	<b>0,706</b>
Julio	0,717	0,89	0,001	0,013	23,68	6,5	<b>0,706</b>
Agosto	0,717	0,89	0,001	0,013	24,75	7,1	<b>0,705</b>
Septiembre	0,717	0,89	0,001	0,008	23,37	4	<b>0,710</b>
Octubre	0,717	0,89	0,001	0,012	26,3	7,3	<b>0,707</b>
Noviembre	0,717	0,89	0,001	0,015	16,91	6,3	<b>0,704</b>
Diciembre	0,717	0,89	0,001	0,009	26,38	5,4	<b>0,709</b>

Fuente: Autor



### 3.4 Cálculo de la energía neta anual (Energía Solar Térmica, 2007).

La energía anual neta disponible, está dada por la sumatoria del producto entre la radiación global mensual sobre superficie inclinada, el rendimiento térmico del captador y un factor por pérdidas en el acumulador.

$$E_{neta\ anual} = \sum(G_{dm\beta} \cdot N_{días} \cdot \eta \cdot k) \quad (36)$$

Dónde

$G_{dm\beta}$  = Es la radiación diaria media mensual sobre superficie inclinada.

$N_{días}$  = Es el número de días del mes que se esté evaluando.

$\eta$  = Rendimiento térmico del captador solar expresado en tanto por uno, se obtiene de una ecuación característica del equipo térmico solar.

$k$  = factor de pérdidas producidas en el acumulador, como recomendación nos indica un valor de 0,85

Tabla 22. Determinación de la energía neta anual captada.

Mes	$G_{dm\beta}$	$N_{días}$	$\eta$	$k$	$E_{netames}$
Enero	25,49	21	0,708	0,9	341,09
Febrero	23,2	18	0,710	0,9	266,85
Marzo	27,38	21	0,709	0,9	366,89
Abril	26,66	21	0,711	0,9	358,25
Mayo	25,34	21	0,709	0,9	339,56
Junio	21,11	21	0,706	0,9	281,68
Julio	23,68	21	0,706	0,9	315,97
Agosto	24,75	21	0,705	0,9	329,78
Septiembre	23,37	21	0,710	0,9	313,60
Octubre	26,3	21	0,707	0,9	351,43
Noviembre	16,91	21	0,704	0,9	225,00
Diciembre	26,38	21	0,709	0,9	353,49
<b>Total</b>					<b>3843,60</b>

Fuente: Autor

$$E_{neta\ anual} = 3\ 843,60 \text{ (MJ/m}^2\text{)}$$

## **CAPÍTULO IV**

### **4. DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE CALENTAMIENTO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR**

En este marco, se trata el diseño del sistema de calentamiento de agua para la piscina cubierta mediante energía solar.

El diseño está adaptado a una construcción ya existente (para el que no existe la obligatoriedad de instalación hidráulica de la piscina).

Se detallaran todos los elementos y pasos a seguir desde el inicio hasta que la instalación esté completamente dimensionada.

#### **4.1 Condiciones para el dimensionamiento**

El dimensionamiento de las instalaciones o sistemas a medida se refiere a la selección de la superficie de captadores solares y en caso de que exista, al volumen de acumulación solar para la aplicación a la que está destinada la instalación. El dimensionamiento de los sistemas solares compactos se refiere a la selección del sistema solar prefabricado para la aplicación de agua caliente a la que está destinado.

El dimensionamiento de una instalación, cualquiera sea su aplicación, deberá realizarse de forma que en ningún mes del año la energía producida supere el 110% de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100%.

A estos efectos, y para instalaciones de un marcado carácter estacional, no se tomarán en consideración aquellos períodos de tiempo en los cuales la demanda se sitúe un 50 % debajo de la media correspondiente al resto del año. En caso de no aplicarse esta restricción, se debe indicar el sistema utilizado para la disipación del exceso de energía producida.

**4.1.1** *Condiciones de confort en piscinas públicas cubiertas* (GALLO VALLEJO, 2012). En primer lugar, es necesario tener presente las condiciones de confort adecuadas evitando condensaciones, para ello se deberá analizar los siguientes aspectos:

- Conseguir la temperatura y humedad ambiental adecuada.
- El mantenimiento de la temperatura del agua del vaso de piscina.
- Evitar las corrientes de aire en la zona de ocupación y sobre la lámina de agua.
- Evitar que se produzcan condensaciones en los distintos cerramientos como consecuencia de la alta humedad absoluta y relativa del aire ambiente interior.
- En cuanto a la temperatura del aire ambiente, la del agua y humedad ambiental está enfocada para los diversos tipos de usuarios, como: deportistas, niños, mayores de 65 años, embarazadas, etc.

En el Ecuador tenemos una recomendación sobre las condiciones de confort en piscinas públicas cubiertas, hay que señalar que la normativa actualmente en vigor no autoriza el consumo de energías convencionales para el calentamiento del agua de piscinas no cubiertas excepto para piscinas con fines terapéuticos.

La energía solar y la bomba de calor han sido consideradas como fuentes no convencionales por la Dirección General de la Energía desde la publicación del Reglamento en 1.980.

En piscinas cubiertas la temperatura seca del recinto tiene que estar entre 27° y 29° C, dos grados por encima de la temperatura del agua, que estará entre 25° y 28° C.

Por lo que respecta a la humedad relativa del aire, en piscinas cubiertas tiene que estar entre el 65 % y el 70 %, mientras que en salas y pabellones tiene que ser inferior al 70 %. La mayoría de las normativas de las diversas comunidades regulan las condiciones de temperatura.

Datos referenciales se muestran en la siguiente tabla

Tabla 23. Temperaturas de confort en piscinas

Mujeres embarazadas	30 - 32 °C
Niños de 3 a 6 años y tercera edad	32
Piscina infantil	30
Disminuidos físicos	29
Entrenamiento	26
Enseñanza y recreo	25
Competición	24

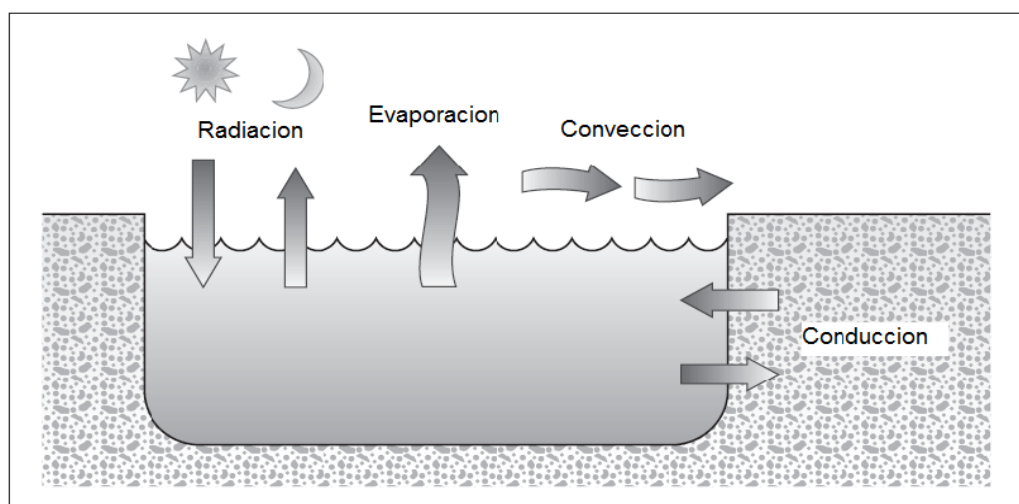
Fuente: RITE 10.2.1.2.

La piscina semi-olímpica en estudio está dentro de la categoría de enseñanza y recreo destacando los siguientes parámetros: temperatura del agua 25 °C, humedad relativa 65%.

#### 4.2 Pérdidas de calor en el vaso de la piscina (GALEON, 2004).

Hay que estudiar la posibilidad de recuperar el calor entálpico extraído por renovación y deshumidificación del aire ambiente, la impulsión del aire se tiene que situar de manera que se impida la formación de condensaciones en las superficies frías, como pueden ser los ventanales, en el caso de las piscinas cubiertas, este aprovechamiento energético es necesario y rentable.

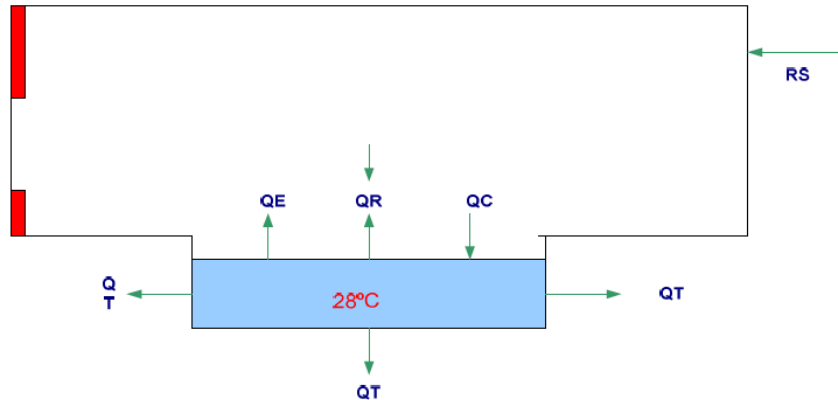
Figura 32. Pérdidas energéticas en el vaso de la piscina



Fuente: CIATESA Climatización de piscinas

También se analizarán las distintas pérdidas de calor que influyen sobre la temperatura del vaso de la piscina, a fin de conocer los factores principales sobre los que es preciso actuar desde el punto de vista del ahorro energético.

Figura 33. Esquema de pérdidas de calor de la piscina



Fuente: CIATESA Climatización de piscinas

**4.2.1 Pérdidas por evaporación** (GALLO VALLEJO, 2012). Cuando el agua se evapora del vaso de la piscina se absorbe calor por lo que se produce un enfriamiento del resto del agua de la piscina que no se evapora, es decir, se produce un descenso de la temperatura del agua del vaso. Por tanto, cuanto mayor sea la evaporación mayor será el enfriamiento que sufre el agua del vaso y a su vez mayores serán las necesidades que habrá que aportar para mantener constante la temperatura del vaso de la piscina.

$$Q_{EVAP} = \{16 S + 133n\} * [W_e - (G_a * W_{as})] * (677,8) \quad [W] \quad (37)$$

Masa de evaporación aplicando la fórmula de Bernier:

$$Me = S [(16 + 133 nb) (We - G_a * was)] + 0,1 Ne \quad (38)$$

Dónde:

$$Me = \text{Masa de agua evaporada, en } \frac{kg}{h}$$

Ga = Grado de saturación.

$W_e$  = Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua en  $\frac{kg\ a\ g}{kg\ a}$

$W_{as}$  = Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire interior, en  $\frac{kg\ a\ g}{kg\ a}$ .

$S$  = Superficie de la piscina, en  $m^2$

$n_b$  = Número de bañistas.

$N_e$  = Número de espectadores.

Este flujo puede cambiar si se profundiza en el análisis considerándola influencia de tres fenómenos:

- **Difusión:** Justo por encima de la superficie libre del agua existe permanentemente una fina capa de aire saturado (interfase) que, por difusión molecular, intercambia vapor de agua con el aire. Este es el único mecanismo de transporte que se manifiesta en una piscina desocupada con el aire en calma.
- **Advección:** En piscinas exteriores el viento renueva continuamente la masa de aire por encima de la interfase, lo que aumenta considerablemente el nivel de evaporación. En este caso, la evaporación es combinación de difusión y advección.
- **Agitación:** En una piscina ocupada, el movimiento de los bañistas produce ondas en la superficie del agua (aumento de la interfase), salpicaduras, evaporación desde sus cuerpos,... Todos estos factores incrementan la evaporación.

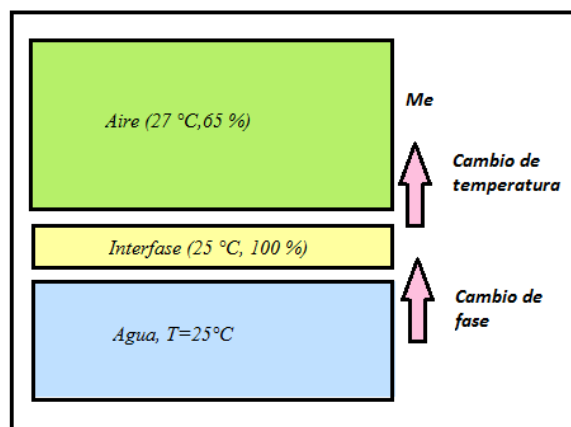
La masa total evaporada ( $m_e$ ) puede escribirse como:

$$\dot{m}_e = ER * \dot{m}_o \quad (39)$$

Siendo  $m_o$  la masa de agua evaporada desde la piscina desocupada y ER un coeficiente de corrección en función del número de bañistas. En la práctica, la única forma de predecir estos términos es utilizando correlaciones experimentales.

Teniendo en la (figura 33) la representación del comportamiento de la masa de evaporación.

Figura 34. . Transferencia de masa del agua al aire



Fuente: F. Domínguez (2006)

Según el método de *Smith*, la velocidad del aire sólo es importante en piscinas exteriores.

En la práctica, su valor está sujeto a gran incertidumbre debido a que depende de la topografía del entorno de la piscina (exterior).

Normalmente se conoce de la velocidad de la corriente de aire no perturbada, es decir, medida en campo abierto. Ponderando este valor puede estimarse la velocidad del viento en las cercanías de la superficie del agua:

$$V = \xi * V_{campo\ abierto} \quad (40)$$

El coeficiente de resguardo  $\xi$  tiene en cuenta la reducción de la velocidad de viento con la altura y con la presencia de obstáculos. Valores típicos son:

Tabla 24. Coeficiente de resguardo  $\xi$

$\xi$	0,3	Lugar no resguardado
	0,2	Moderadamente resguardado
	0,1	Bien resguardado
	0,15	Para hacer estimaciones

Fuente: CIMNE

$$\dot{m}_o = A (0,4239 + 0,5652 * v^{0,5}) * \frac{P_{sat}(T_{ag}) - HR_{ai} * P_{sat}(T_{ai})}{h_{fg}} \quad (41)$$

Dónde:

$A$  = Área de la superficie libre del agua ( $m^2$ )

$v$  = Velocidad del viento por encima de la superficie del agua [m/s]

$P_{sat}(T_{ag})$  = Presión parcial de vapor en saturación a la temperatura del agua [Pa]

$HR_{ai}$  = Humedad relativa del aire

$h_{fg}$  = Calor latente de cambio de fase del agua  $\approx 2448 \frac{kJ}{kg}$

ER = 1 para piscinas desocupadas

ER = 1,5 para piscinas privadas con actividad moderada

ER = 2 para piscinas públicas y actividad normal

ER = 2,8 para piscinas de recreo (muchoa agitación del agua)

ER = 3,5 para piscinas con olas artificiales



Debe mencionarse que algunos investigadores cuestionan la forma funcional de la (ecuación 39) a favor del ajuste no lineal, y así obteniendo la (ecuación 42).

$$\dot{m}_o = A (k_1 + k_2 * v^{0,5}) * \frac{(P_{sat}(T_{ag}) - HR_{ai} * P_{sat}(T_{ai}))^{0,6}}{h_{fg}} \quad (42)$$

Para piscinas interiores y exteriores, Smith propone utilizar los siguientes coeficientes.

$$k_1 = 0,2314$$

$$k_2 = 0,231056$$

Valores que han sido obtenidos a partir de ensayos y que corrigen los que históricamente se han recomendado en el conocido libro ASHRAE Applications.

También según estos autores, el término de corrección por ocupación se calcula como:

$$ER = 1,04 + 4,2735 * \frac{N}{A} \quad (43)$$

Así la correlación de Smith para piscinas es:

$$\dot{m}_e = A \left( 1,04 + 4,2735 * \frac{N}{A} \right) * \frac{(0,2314 + 0,231v)(P_{sat}(T_{ag}) - HR_{ai} * P_{sat}(T_{ai}))}{h_{fg}} \quad (44)$$

La velocidad del viento únicamente es importante en piscinas exteriores, de manera que para piscinas interiores se reduce a:

$$\dot{m}_e = 0,2314 * A * \left( 1,04 + 4,2735 * \frac{N}{A} \right) * \frac{(P_{sat}(T_{ag}) - HR_{ai} * P_{sat}(T_{ai}))}{h_{fg}} \quad (45)$$

El significado de las unidades de las variables son las siguientes

Dónde:

$$\dot{m}_e = \text{masa de agua evaporada} \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

N = Número de bañistas

$$A = \text{Área de la superficie libre del agua} [m^2]$$

$$v = \text{Velocidad del viento por encima de la superficie del agua} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$P_{\text{sat}}(T_{\text{ag}}) = \text{Presión parcial de vapor en saturación a la temperatura del agua} [Pa]$$

$$P_{\text{sat}}(T_{\text{ai}}) = \text{Presión parcial de vapor a la temperatura del aire} [Pa]$$

HR<sub>ai</sub> = Humedad relativa del aire

$$h_{fg} = \text{Calor latente de cambio de fase del agua} \approx 2448 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

Las condiciones de diseño son: temperatura del agua 25 °C, temperatura del aire 27 °C y humedad relativa 65%. La piscina se utiliza durante 8 horas al día, con una ocupación media de 20 bañistas por hora. En primer lugar se harán todos los cálculos psicrométricos necesarios. Pueden utilizarse tablas o expresiones analíticas, el diagrama psicrométrico o algún programa de ordenador:

$$P_{\text{sat}}(T_{\text{ag}}) = \text{presión parcial (25 °C, 100 \%HR)} = 3166,9 [Pa]$$

$$P_{\text{sat}}(T_{\text{ai}}) = \text{presión parcial (27 °C, 100\% HR)} = 3564,3 [Pa]$$

$$\delta_{\text{ag}} = \text{densidad (25 °C, 100\% HR)} = 1,147 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\delta_{\text{ai}} = \text{densidad (27 °C, 65\% HR)} = 1,151 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Tabla 25. Humedad absoluta del aire saturado para 65% HR

Temperatura aire [°C]	w (kg.agua/kg.aire)
20	0,0147
21	0,0155
22	0,0165
23	0,0177
24	0,0187
25	0,02
26	0,0213
27	0,0225
28	0,024
29	0,255
30	0,027

Fuente: Compact Cold

$W_{ag}$  = humedad absoluta (25 °C, 100% HR) = 0,02007 [kg. agua / kg aire seco]

$W_{ai}$  = humedad absoluta (27 °C, 65% HR) = 0,01341 [kg. agua / kg. aire seco]

$$h_{fg} = 2448 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

Reemplazando estos valores en la (ecuación 42) tenemos:

$$\dot{m}_o = 25,12 \frac{kg}{h}$$

Durante las horas de uso, la masa evaporada aumentará en la cuantía dada por la (ecuación 45) debido a la agitación provocada por los bañistas.

$$ER = 1,04 + (4,2735) \left( \frac{20}{312,5} \right) = 1,3135$$

$$\dot{m}_e = (ER)(\dot{m}_o) = (1,3135)(25,12 \frac{kg}{h})$$

$$\dot{m}_e = 32,99 \frac{kg}{h}$$

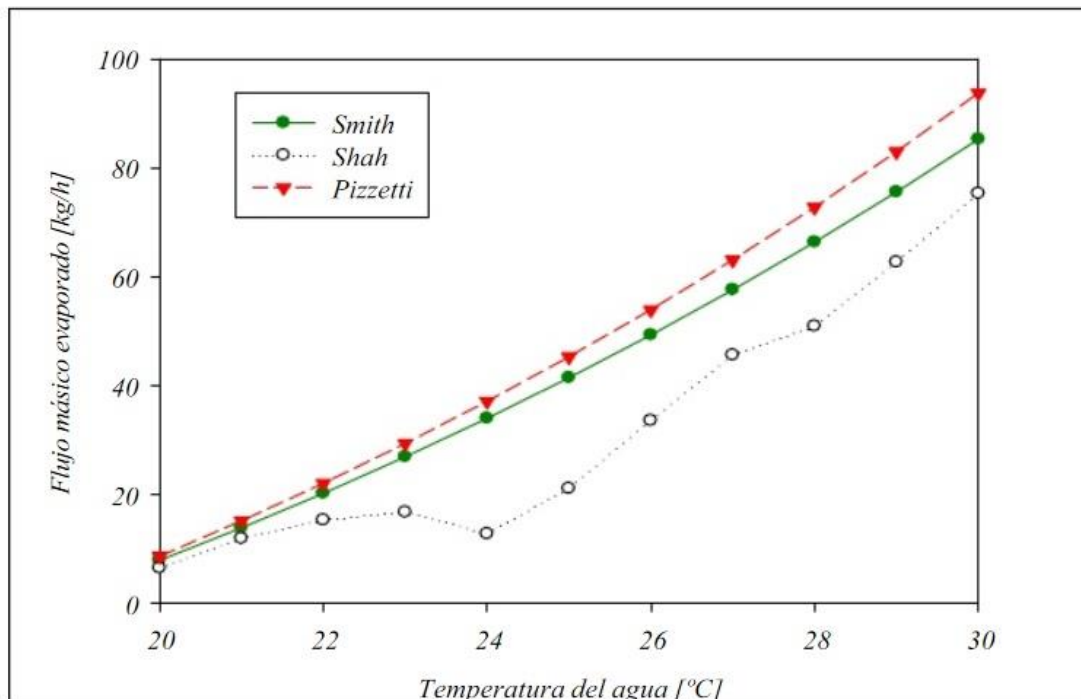
La piscina se utiliza durante 8 horas al día, de manera que la masa total evaporada en un día es:

$$M = (25,12 \frac{kg}{h}) (24 - 8) + (32,99 \frac{kg}{h}) (11)$$

$$M = 739,747 \frac{kg}{día}$$

Profundizando un poco más en la (figura 35) se muestran las predicciones de cada correlación para  $m_o$  al variar la temperatura del agua manteniendo las condiciones en el aire en 27°C.

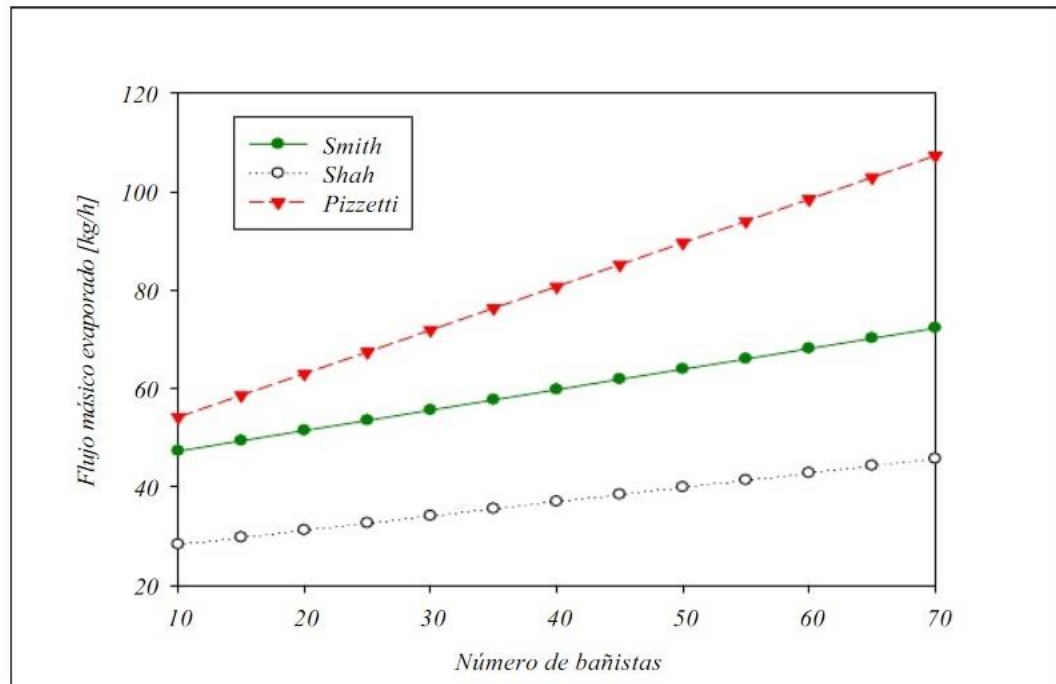
Figura 35. Evolución de  $m_o$  con °T<sub>agua</sub>



Fuente: CIMNE

La (figura 36) muestra la evolución de  $m_e$  con el número de usuarios cuando se mantienen constantes las condiciones en el agua (25°C) y en el aire (27°C, 65 - 70%HR).

Figura 36. Efecto del número de usuarios



Fuente: CIMNE

Las discrepancias son considerables. Probablemente la correlación de Pizzetti sobrestima la masa evaporada, especialmente cuando la ocupación es elevada.

En cuanto a la de Shah, aunque su autor afirma que es la que mejor ajusta los resultados de distintas fuentes, vemos que predice valores bastante por debajo de la correlación de Smith, que se obtuvo a partir de experimentos cuidadosos y bien documentados realizados en diferentes piscinas.

Desde el punto de vista del diseñador y teniendo en cuenta que la incertidumbre persiste, los resultados de Shah serían comprometedores si resultara que subestimaran la carga.

Los resultados de Smith pueden considerarse una solución intermedia, hasta que se publiquen resultados más concluyentes.

$$Q_{\text{evaporación}} = (\dot{m}_e)(Cv) \quad (46)$$

Dónde:

$Q_{\text{evaporación}}$  = pérdidas por evaporación

$\dot{m}_e$  = masa de agua evaporada  $[\frac{kg}{h}]$

$Cv$  = Calor de vaporización del agua

$$Cv = 2\,260 \frac{kJ}{kg} = 677,8 \frac{Wh}{kg}$$

Que representa el calor de vaporización del agua para una temperatura de 25°C.

$$Q_{\text{evaporación}} = (\dot{m}_e)(Cv) = (32,99 \frac{kg}{h})(677,8) \frac{Wh}{kg}$$

$$Q_{\text{evaporación}} = 22\,360,622 \text{ W}$$

**4.2.2 Pérdidas por radiación** (GAYO PÍRIZ, 2009). Como se tiene piscina cubierta estas pérdidas se podrían despreciar, sin embargo para calcular las pérdidas que el vaso de la piscina sufre debido a la radiación se utiliza la fórmula de Stefan Boltzmann.

Estas pérdidas están en función de la diferencia entre la temperatura media de los cerramientos y la del agua.

Ambas temperaturas están elevadas a la cuarta potencia y están expresadas en grados Kelvin ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$ ).

$$Q_{RADIACIÓN} = \{D * E * [T^4_{ag} - T^4_c]\} * S_{vaso} \quad [W] \quad (47)$$

$$D = \text{constante de Stefan-Boltzmann} = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

$$E = \text{emisividad del agua} = 0,95$$

$$T_{ag} = \text{Temperatura del agua (}^\circ K) = 25 + 273 = 298 \text{ }^\circ K$$

$$T_c = \text{Temperatura superficial de los cerramientos (}^\circ K) = 23 + 273 = 296 \text{ }^\circ K$$

$$S_{vaso} = \text{Superficie del vaso de la piscina} = 312,5 m^2$$

En el caso de las piscinas cubiertas los cerramientos deben encontrarse a muy pocos grados de temperatura por debajo ( $T_c = 23^\circ C$ ) dependiendo del tipo de cerramiento y coeficiente de transmisión de calor, de la del aire ambiente, y por tanto a muy poca diferencia con la del agua, por esta razón las pérdidas por radiación en piscinas cubiertas se consideran generalmente despreciables.

$$Q_{RADIACIÓN} = 0,000\ 033\ 67\ W$$

**4.2.2.1 Ganancias por radiación solar debido a condiciones del recinto.** Al tratarse de ganancias no se consideran en el cálculo para determinar las necesidades térmicas, estas ganancias dependen de:

- Orientación de los cerramientos del recinto
- Superficie y tipo de acristalamientos

Aunque este factor no contribuya al cálculo de las pérdidas, es necesario tenerlo presente, ya que dependiendo de los factores anteriores, en épocas intermedias si las ganancias son elevadas, podría aumentar considerablemente la temperatura interior del recinto.

Por tanto, en estos casos es conveniente prever la instalación de un sistema de freecooling. La expresión para calcular la radiación solar absorbida por el conjunto agua + vaso (recipiente) tendrá la forma:

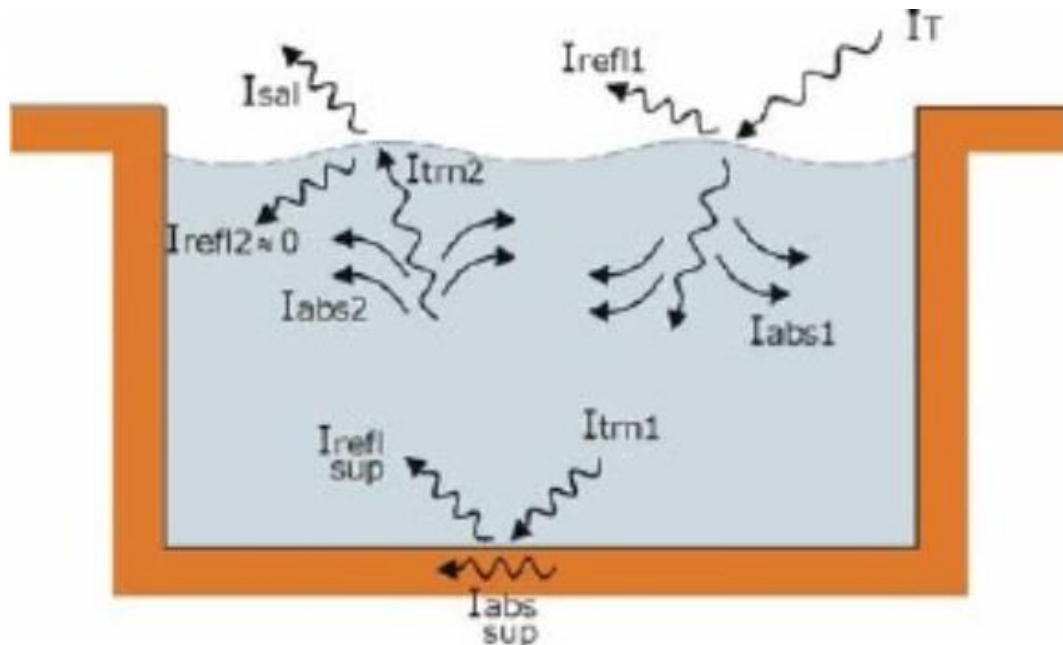
$$G_{solar} = A [(1 - r_b) R_b + (1 - r_d) R_d] \quad (48)$$

Dónde:  $A[m^2]$  es el área de la interface,  $r_b$  la reflectividad total (considerando todas las reflexiones) de la interface para la radiación directa,  $R_b[kJ/h m^2]$ .

La radiación directa incidente sobre superficie horizontal durante el periodo de cálculo considerado,  $r_d$  la reflectividad total de la interface para la radiación difusa y  $R_b[kJ/h m^2]$ .

La radiación difusa incidente sobre la horizontal durante el periodo de cálculo considerado.

Figura 37. . Seguimiento de un rayo solar en el interior del vaso



Fuente: CIMNE-UPC



**4.2.3. Pérdidas por convección.** Las pérdidas por convección en el caso de piscinas cubiertas son prácticamente despreciables, y la explicación es porque al aplicar la fórmula que nos permite calcular estas pérdidas su valor resultante es muy pequeño, debido a que la diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente y la del agua, en las piscinas climatizadas es muy pequeña.

Además, se da el caso de tener una ganancia en lugar de pérdidas ya que la temperatura del recinto es superior a la del agua. Para calcular las pérdidas por convección utilizamos la (ecuación 4.7).

$$Q_{CONVECCIÓN} = \{0,625 * [T_{ag} - T_a]^{4/3}\} * S_{vaso} \quad [W] \quad (49)$$

Dónde:

Constante = 0,625

Tag = Temperatura del vaso de agua (25°C)

Ta = Temperatura del aire (27°C)

S<sub>vaso</sub> = Superficie de los vasos de las piscinas.

$$Q_{Convección} = - 491,8416 W$$

**4.2.4 Pérdidas por renovación.** En una piscina cubierta existen pérdidas continuas de agua, desde la evaporada, a la que los propios bañistas sacan del vaso del agua, o la gastada en la limpieza de fondos y filtros. Sin embargo, estas cantidades son muy inferiores al 5% del volumen total del vaso que obligatoriamente por normativa.

Esta renovación, conlleva que las pérdidas de calor por este concepto sean importantes, y en todo caso dependerán de la temperatura del agua de la red y de la temperatura del agua de la piscina que se pretenda alcanzar.

Estas pérdidas se pueden calcular utilizando la (ecuación 50).

$$Q_{RENOVACIÓN} = V_r * D * C_e * [T_{ag} - T_x] * \frac{1}{24} \quad [W] \quad (50)$$

$V_r$  = Volumen de agua de renovación ( $m^3$ ) (5% volumen del vaso)

Volumen de la piscina/ (5%  $V_{total}$ ):  $562,5m^3/28,125m^3$

$V_r = 20 m^3$

$D$  = Densidad del agua =  $1\ 000 \frac{kg}{m^3}$

$C_e$  = Calor específico del agua =  $1,16 \frac{Wh}{kg\ ^\circ C}$

$T_{ag}$  = Temperatura del agua de la piscina  $25^\circ C$

$T_x$  = Temperatura del agua de la red  $13,16^\circ C$

(1/24): Este término se coloca en la expresión para cambiar las pérdidas por renovación de las unidades de wh a pérdidas diarias en el vaso de la piscina.

$$Q_{RENOVACIÓN} = 11\ 445,3\ w$$

**4.2.5 Pérdidas por transmisión.** Estas pérdidas dependerán de las características constructivas del vaso y del coeficiente de transmisión térmica del material empleado.

En el caso más habitual del vaso de hormigón construido dentro del propio sótano del recinto las pérdidas por transmisión se calculan utilizando la fórmula:

$$Q_{TRANSMISIÓN} = k * S * [T_{ag} - T_{ex}] \quad (51)$$

k = Coeficiente de transmisión de muros y solares enterrados;  $1,50 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$

S = Superficie de cerramiento del vaso

Piscina = lado 1+lado2+lado3+lado4+Tapa inferior: 447,5 m<sup>2</sup>

T<sub>ag</sub> = Temperatura del agua de la piscina (25°C)

T<sub>ex</sub> = Temperatura exterior al cerramiento (sótano) (15°C)

$$Q_{\text{TRANSMISIÓN}} = 6712,5 \text{ w}$$

**4.2.6 Pérdidas por conducción.** Las pérdidas por conducción tienen lugar a través de las paredes del vaso hacia el medio circundante, que puede ser el terreno, un sótano, un vacío sanitario, etc., Según la bibliografía, las pérdidas de calor por conducción no superan el 5% de la suma del resto de pérdidas de calor del vaso, de manera que pueden calcularse como:

$$Q_{\text{conducción}} = 0,05 * (Q_{\text{evaporación}} + Q_{\text{convección}} + Q_{\text{renovación}}) \quad (52)$$

Para determinarlas de forma analítica es necesario conocer la temperatura del medio circundante y la composición de las paredes del vaso.

En buena medida las paredes se encontrarán en régimen permanente debido a que las oscilaciones de temperatura a ambos lados (agua y exterior) del muro deben ser pequeñas. En la (figura 38) se tiene el esquema eléctrico equivalente del problema, con el flujo radiante de corta absorbido por la cara interna del vaso impuesto en el nodo correspondiente a la superficie interior.

El flujo por conducción:

$$Q_{cd} = Ah_i (T_{ag} - T_{vi}) \quad (53)$$

Figura 38. Efecto del número de usuarios



Fuente: CIMNE-UPC

Siendo la temperatura en la cara interior del vaso:

$$T_{vi} = \frac{1}{U_p + h_i} \left[ \frac{I_{abs,y}}{A_v} + U_p T_s + h_i T_{ag} \right] \quad (54)$$

Y el coeficiente global de transferencia:

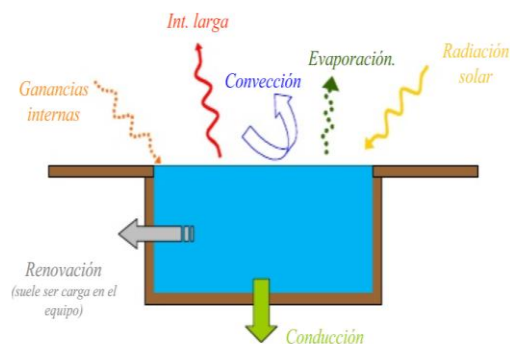
$$U_p = \frac{1}{\sum \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_e}} \quad (55)$$

Dónde  $h_i$  [ $w/m^2 \cdot K$ ] es el coeficiente de convección en la cara interior de la pared del vaso,  $h_e$  [ $w/m^2 \cdot K$ ] el coeficiente convectivo-radiante en la cara exterior de la pared del vaso.  $e_j$  [m] el espesor de la capa “j” del vaso y  $k_j$  [ $w/m \cdot K$ ] la conductividad de dicha capa.

$$Q_{conducción} = 6712,5 \text{ w}$$

Resumen de pérdidas por transferencia de calor en la piscina (MORENO CORRALES)

Figura 39. Flujos de calor y masa en la piscina



Fuente: CIMNE-UPC

**4.2.7 Pérdidas Totales.** En la siguiente tabla se muestra un resumen de todas las pérdidas que tenemos en una piscina climatizada y que hemos ido detallando anteriormente con las definiciones de cada una de las mismas:

Tabla 26. Pérdidas Totales

<b>PÉRDIDAS</b>	<b>VASO PRINCIPAL (W)</b>
Q <sub>evaporación</sub>	22 360,622
Q <sub>radiación</sub>	0,000 033 67
Q <sub>convección</sub>	-491,841 6
Q <sub>renovación</sub>	11 445,3
Q <sub>transmisión</sub>	6 712,5
Q <sub>conducción</sub>	2 025,92
<b>Q<sub>total</sub></b>	<b>42 052,50</b>

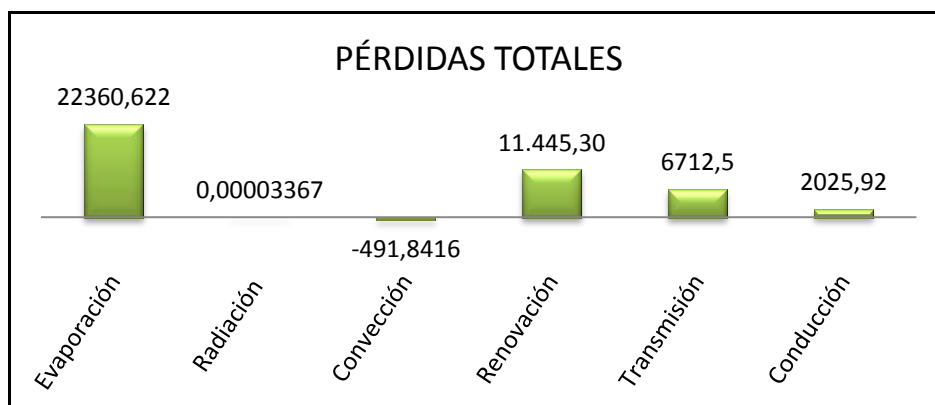
Fuente: Autor

$$Q_{\text{total}} = 42052,50 \text{ W} = 42,052 \text{ kW (8h)} = 336,416 \text{ kWh}$$

$$\text{Pérdidas Totales (anuales)} = 122791,84 \text{ kWh}$$

En la siguiente grafica se representan las pérdidas existentes en el vaso de la piscina:

Figura 40. Grafica Pérdidas en el vaso de la piscina



Fuente: Autor

Puede verse de este análisis, que las pérdidas más importantes que afectan en el mantenimiento de la temperatura del vaso de una piscina son la evaporación y la renovación del agua.

Por tanto, desde el punto de vista del ahorro energético habría que actuar sobre las pérdidas por evaporación colocando una manta térmica que cubra la lámina de agua durante el período de inutilización de la piscina, recomendación que se hace en el apartado de recuperación de calor, aspecto mencionado en el nuevo RITE.

Para cubrir las pérdidas del vaso de la piscina se utiliza inicialmente la energía solar (circuito primario) y como segunda alternativa para cubrir las pérdidas utilizaremos la caldera de Biomasa.

### **4.3 Manta térmica**

Muy importantes son las pérdidas por evaporación del agua, representadas en el cálculo de pérdidas. Estas pérdidas dependen fuertemente del porcentaje de humedad relativa del aire, de modo que en clima seco, con la piscina descubierta, el efecto de enfriamiento del agua es enorme.

Nótese que si, en cambio, la cubierta crea un efecto de saturación del aire que circunda la piscina, esta fuente de pérdidas desaparece, así como se perdería el aporte por radiación el cual pudimos notar que no es influyente.

Figura 41. Manta térmica



Fuente: Desjoyaux

La cubierta térmica nos va a aportar varias mejoras considerables a la instalación, como son las siguientes:

- a. Evita la pérdida de calor:** Al estar tapada, obtenemos un ahorro energético que esta entre el 60 -70%.
- b. Para mantener la temperatura del agua:** Los cobertores o mantas térmicas suelen ser elementos indispensables si se quiere llevar a cabo la climatización de una piscina. Estos elementos nos evitan el efecto de evaporación de agua además de que nos permite tener un “microclima” en el interior del mismo, que siempre se mantendrá en una temperatura superior a la del exterior.
- c. Elemento de seguridad:** El cobertor o manta térmica tiene una gran resistencia y puede evitar que un niño, adulto o animal caigan accidentalmente en la piscina.
- d. Para evitar la suciedad:** Si tenemos nuestra piscina cubierta evitamos que caigan elementos externos, como hojas, arena, insectos, en el agua cuando no la estemos utilizando. Tanto a corto plazo como a largo, esto nos será de gran utilidad, ya que nos evitará estar eliminando la suciedad del agua y además no se llenarán de suciedad los filtros.
- e. Evita un deterioro de la maquinaria.** Al controlar la evaporación el aporte energético será menor, lo que conlleva la conservación de los equipos.

La cubierta térmica será un elemento que nos ayude a obtener mayor temperatura en el agua, evitando la pérdida de calor que se produce durante la noche, de esta manera, conseguiremos tener un aumento de la temperatura de la piscina de manera gratuita.

Dentro de las varias posibilidades de cubiertas, la más económica es la cubierta de burbujas con enrollador manual.

Figura 42. Enrollador cilíndrico manual-manta térmica



Fuente: Desjoyaux

Existen varias calidades, que van en función del gramaje, 380 gr, 520 gr, de espuma etc. A más gramos, más aislamiento térmico.

Figura 43. Manta térmica 380 gr



Fuente: Desjoyaux

La cubierta de espuma tiene gran aislamiento térmico (más que la de burbujas), pero se recomienda solo instalarla en instalaciones interiores.

El otro elemento es el enrollador, elemento obligatorio para poder recoger la cubierta con la mayor facilidad. Los enrolladores tiene unas medidas máximas de ancho que



rondan los 7 m. Partiendo de este dato y con la medida final de la piscina, elegiremos la mejor combinación.

En nuestro caso tenemos una piscina semiolímpica (25m) (12,5m), es necesario dos enrolladores contrapuestos y dos cubiertas, esto ayuda a una cómoda instalación. La unión de la manta al enrollador es mediante unas cintas.

Figura 44. Enrollador mediante cintas-Manta térmica [24]



Fuente: Desjoyaux

El enrollador también dispone de ruedas, de esta manera, una vez que tenemos la cubierta enrollada, la podemos mover fácilmente fuera del perímetro de la piscina, de esta manera, no es un obstáculo para el uso de la piscina, este sistema descrito es económico y efectivo.

Como ya hemos visto, las mantas térmicas son elementos casi indispensables en todas las piscinas.

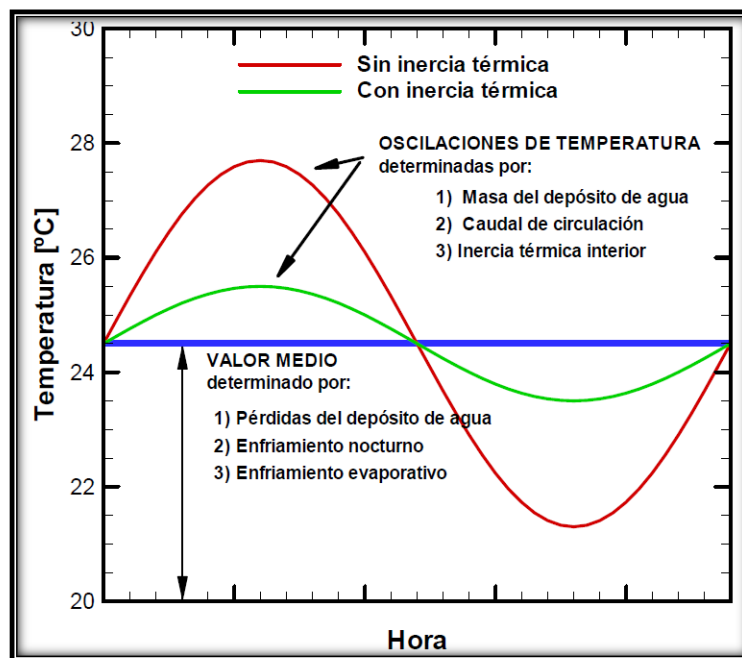
#### **4.4 Inercia térmica (FUENTES CALERO)**

Para instalaciones de climatización de piscinas exclusivamente, no se podrá usar ningún volumen de acumulación, aunque se podrá utilizar un pequeño almacenamiento de inercia en el primario.

Inercia térmica es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno. Depende de la masa, del calor específico de sus materiales y del coeficiente de conductividad térmica de éstos.

Las placas de hormigón en la construcción del vaso impiden una rápida pérdida de la temperatura del agua, dando una mayor inercia térmica frente a otros sistemas prefabricados para piscinas reduciendo el consumo energético destinado al mantenimiento del agua a una temperatura constante.

Figura 45. Inercia térmica



Fuente: W. A Solar Engineering of Thermal Proceses

#### 4.5 Sistema de deshumidificación (DÍAZ POOLS, Piscinas, 2012)

Para limitar el fenómeno de la evaporación, es aconsejable instalar una manta térmica en la piscina. Esta manta permitirá un ahorro de energía para la calefacción del agua, del aire y la deshumidificación.

La evaporación en la lámina de agua será tanto mayor cuanto mayor sea la ocupación de la piscina, y en particular el número de bañistas, porque la mayor interacción entre agua

y aire en flujo turbulento que se crea como consecuencia del chapoteo, esto favorece la evaporación, además de una elevada velocidad del aire.

Existen dos factores adicionales que suponen un aporte de humedad extra al ambiente y que debemos de considerar para calcular el incremento de humedad absoluta:

1.- Carga latente de los propios bañistas y del público en general.

2.- El aire exterior de ventilación, que en algunos casos puede tener más humedad absoluta que el aire ambiente interior, y esto supone un aumento de la humedad ambiental, aunque en la mayoría de los casos ocurre justo lo contrario ayudando a deshumectar por estar este aire exterior más seco que el interior.

En el local donde se encuentra la piscina, la higrometría ideal está entre el 60 % y 70 %. Por debajo del 60 % el aire demasiado seco causará sensaciones de incomodidad al bañista al salir del agua. Por encima del 70 % el aire saturado del agua causará una atmósfera incómoda y favorecerá el desarrollo de moho.

En una piscina interior, la evaporación depende de diferentes parámetros:

- La superficie de la piscina
- La temperatura del agua
- La temperatura del aire
- El porcentaje de higrometría
- Los movimientos del agua en la piscina (número de bañistas, desbordamiento, natación a contracorriente...).

Hay 3 tipos de soluciones de deshumificación:

**Deshumificadores de ambiente:** Se pueden instalar dentro del recinto de la piscina (a una distancia mínima de 2m. de la lámina de agua) y no necesitan instalación con conductos. Solución sencilla, fácil de instalar y económica para piscinas en construcción y piscinas ya existentes.

Este sistema no permite quitar la condensación en las paredes acristaladas. En caso de que el espacio donde está ubicada la piscina tenga una gran superficie acristalada, se tendrá que considerar la adquisición de otro sistema.

**Deshumificadores empotrados:** Instalación en un local técnico contiguo a la piscina, empotrado en las paredes.

Solamente se visualiza desde la piscina las rejillas de entrada y salida del aire. Esta solución sencilla permite la instalación del deshumificador fuera del perímetro de seguridad reglamentario (2m. mínimo), con la discreción visual y sonora.

Este sistema no permite quitar la condensación en las paredes acristaladas. En caso de que el espacio donde está ubicada la piscina tenga una gran superficie acristalada, tendrá que considerar la adquisición de otro sistema.

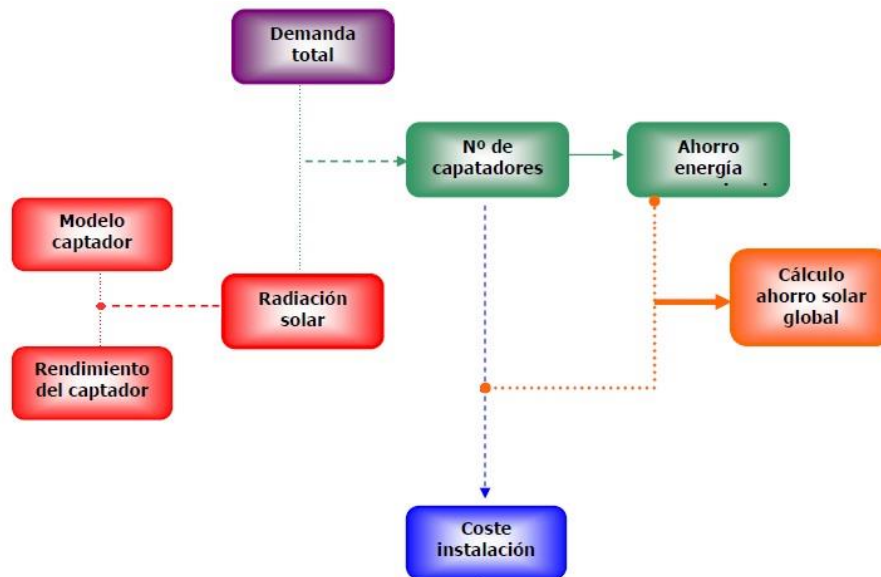
**Deshumificadores con conductos:** La deshumidificación con conductos se trata de un equipo denominado «central» cuyo principio consiste en descargar aire caliente y seco por todas las cristaleras. Esta solución es la más eficaz para luchar contra los fenómenos de condensación.

Un equipo con conductos es la única solución para tratar eficazmente la condensación en las paredes acristaladas porque permite colocar las rejillas de descarga a lo largo de las paredes acristalada; es el mismo principio que en el coche, donde sale aire caliente por las rejillas debajo del parabrisas para eliminar el vaho.

Sólo son visibles estas rejillas en el local de la piscina, mientras que el aparato está instalado en el local técnico situado en las inmediaciones.

## 4.6 Selección de la configuración básica.

Figura 46. Cuadro sinóptico para el cálculo de la instalación solar térmica



Fuente: Autor

Los datos de partida necesarios para el dimensionado y cálculo de la instalación están constituidos por dos grupos de parámetros que definen las condiciones de uso y climáticas.

- *Condiciones de uso*

Las condiciones de uso vienen dadas por la demanda energética asociada a la instalación, para aplicaciones de calentamiento de piscinas, la demanda energética se calcula en función de las pérdidas anuales de la misma.

- *Condiciones climáticas*

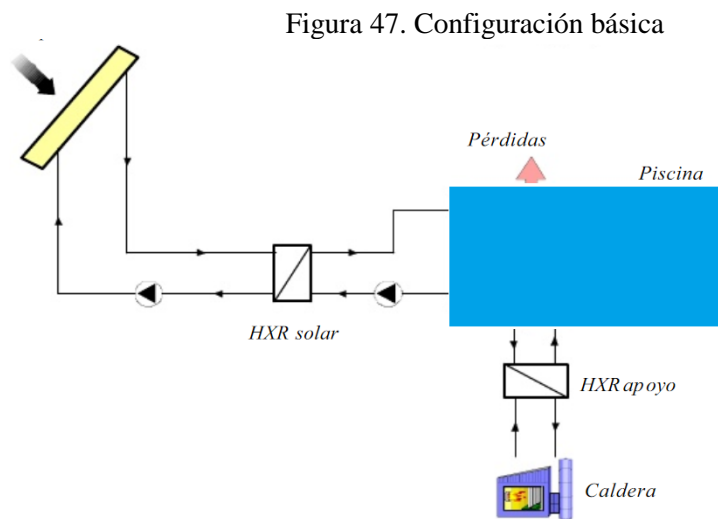
Las condiciones climáticas vienen dadas por la radiación global total en el campo de captación, la temperatura ambiente diaria y la temperatura del agua de la red.

En la actualidad existen cada vez más formas de aprovechar la energía solar. Una de las formas más comunes el calentamiento de agua mediante colectores planos. En

este trabajo, se muestra el caso de un colector para el calentamiento de agua para piscinas.

El principio de funcionamiento es sencillo, la energía solar en forma de radiación es absorbida por un material, aumentando la temperatura del mismo.

Luego por conducción y convección, este transmite su energía al fluido que deseamos calentar. En estas transformaciones intervienen muchos factores, los cuales serán cuidadosamente estudiados para el diseño de instalaciones que utilicen este tipo de colectores.



Fuente: [www.energiasolar.es](http://www.energiasolar.es)

Las pérdidas son continuas durante todo el día y la inercia del vaso puede realizar el papel de sistema de acumulación.

En el esquema de la (figura 48), la instalación solar cede toda la energía captada al agua del vaso, venciendo parcial o totalmente las pérdidas de calor de este. Cuando la energía solar captada sea nula o menor que la demandada, el sistema auxiliar aportará la diferencia para mantener la temperatura del agua en su valor de consigna.

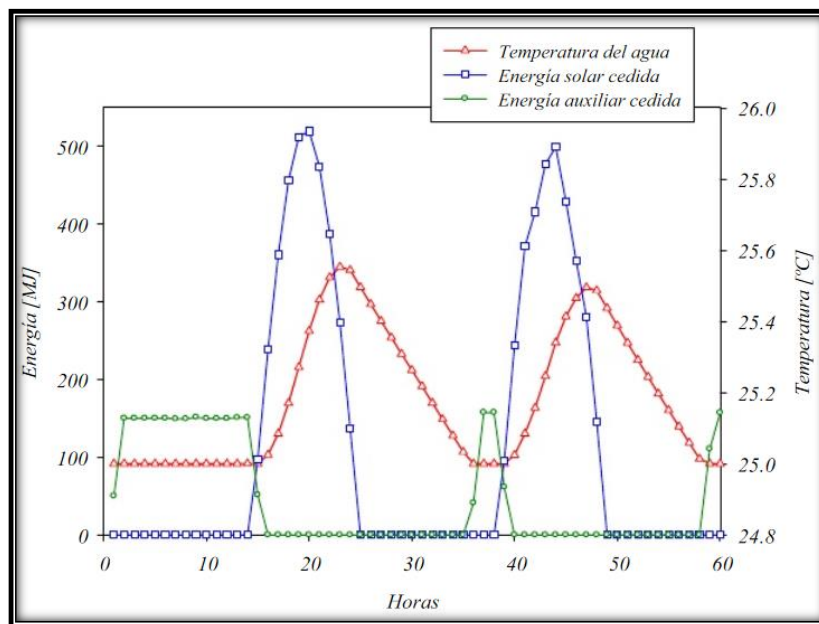
Cuando, por el contrario, el aporte solar supere a la demanda, el exceso de energía hará aumentar la temperatura (energía interna) del agua por encima de la consigna, lo que

provocará la desconexión del sistema auxiliar hasta que el agua vuelva de nuevo a enfriarse por debajo de la consigna.

La piscina estará actuando entonces como un acumulador. Los días de baja radiación solar el sistema auxiliar está combatiendo todas las pérdidas de calor del agua, a fin de mantener la temperatura de consigna.

Tras la salida del Sol, el aporte solar va aumentando y el auxiliar disminuyendo en la misma cuantía. La temperatura del agua se mantiene constante hasta que llega un momento en que el aporte solar supera la demanda y la temperatura del agua del vaso empieza a aumentar por encima de la de consigna.

Figura 48. Evolución de la temperatura del agua y de los aportes solar y auxiliar



Fuente: CIMNE

Esto provoca la desconexión del sistema auxiliar (línea verde a cero). Tras la puesta de Sol (línea azul a cero), la temperatura del agua comienza a disminuir, pero el sistema auxiliar no volverá a funcionar hasta que no baje de 25°C. Al día siguiente se repite un ciclo similar.

Este ejemplo ilustra claramente cómo la instalación solar entra en el balance de energía del vaso, reduciendo el aporte auxiliar.

#### **4.7 Descripción técnica**

Antes de realizar una instalación solar, hay una serie de parámetros que se deben conocer, entre estos factores se encuentran:

- La demanda de energía térmica del usuario: Agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración, calentamiento de piscinas, procesos industriales, etc.
- Disponibilidad de espacios para la instalación solar en cuanto a superficie disponible, orientación e inclinación, etc., ya que podría limitar la potencia térmica instalada.
- Datos climáticos de diseño, temperatura ambiente, temperatura de agua de red y niveles de radiación disponibles a lo largo del año, (en caso de usar captadores con sistemas de seguimiento, sería necesario contar con los datos de radiación solar directa).

Una vez conocidas estas variables, se diseña la instalación y se eligen los equipos.

**4.7.1 Tipos de captadores solares** (EU SOLAR, Catálogo 2012). En este apartado se realizará una breve descripción de las principales características técnicas de las diferentes tecnologías de captación solar disponibles.

La correcta elección del tipo de captador depende principalmente de la temperatura de trabajo deseada y de las condiciones climáticas.

El rendimiento de los captadores solares disminuye a medida que la temperatura del fluido aumenta y la temperatura ambiente o la radiación disponible disminuyen.

Entre los más importantes destacamos los siguientes:



- Colectores de placa plana con cubierta (Glazed flat-plate collectors)
- Colectores Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) Estacionarios
- Colectores de placa plana sin cubierta (Unglazed flat-plate collectors)
- Colectores de tubos de vacío (Evacuated-tube collectors).

**Colectores de placa plana con cubierta:** Los colectores de placa plana son los más usados, un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbadora de color oscuro.

La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector-

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30 - 70 °C.

Son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales y en piscinas cubiertas.

Un colector de placa plana consiste en un absorbedor, una cubierta transparente, un marco, y aislación. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar y al mismo tiempo, sólo deja pasar muy poca radiación de onda larga (calor emitido por el absorbedor) produciendo un efecto invernadero.

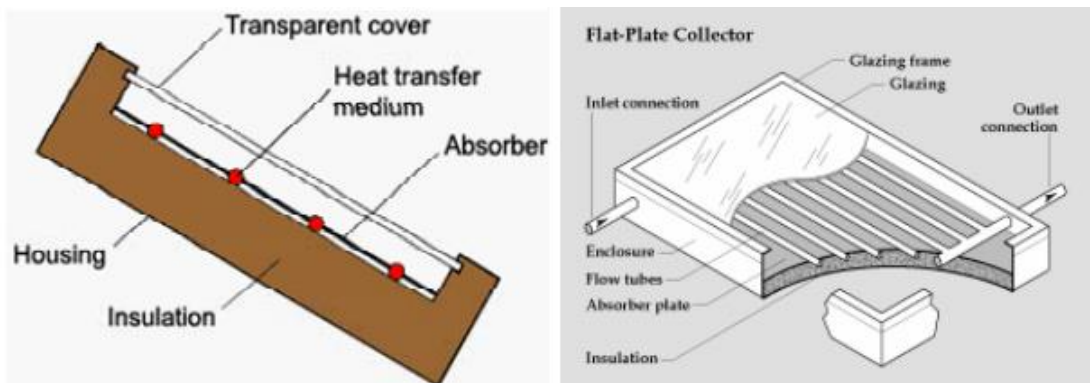
Además, la cubierta transparente evita que el viento y las brisas se lleven el calor colectado (convección). Junto con el marco, la cubierta protege el absorbedor de las condiciones meteorológicas adversas. Típicamente el marco está fabricado de materiales de aluminio y de acero galvanizado, también se utiliza plástico reforzado con fibra de vidrio.

La aislación en la parte posterior del absorbedor y en las paredes laterales reduce las pérdidas de calor por conducción.

Esta aislación es por lo general de la espuma de poliuretano, lana mineral, fibra de lana de vidrio, etc.

Estos colectores demostraron poseer una muy buena relación precio/calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje (en el techo, como parte del techo, o solos).

Figura 49. Esquema del colector de placa plana con cubierta



Fuente: RITTER solar

Figura 50. Foto de un colector solar de placa plana con cubierta



Fuente: RITTER SOLAR

- **Colectores concentradores parabólicos compuestos (cpc) estacionarios**

Su funcionamiento e instalación es exactamente la misma que los colectores de placa plana convencionales. Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo Concentradores Parabólicos Compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un alto rendimiento.

Figura 51. Foto de un colector solar tipo CPC estacionario



Fuente: RITTER SOLAR

- **Colectores de placa plana sin cubierta:** Este tipo de colectores, sencillos y baratos, consisten en un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 °C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura.

Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, incluidos los de calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, también existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos, como campamentos de verano.

Los absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están contruidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua.

Dado que estos colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección.

Figura 52. Foto de un colector de placa plana sin cubierta



Fuente: RITTER SOLAR

**Colectores de tubos de vacío:** Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador).

Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C.

De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana.

#### 4.8 Selección del colector según su aplicación

El rango de temperaturas deseadas para el fluido que se calienta es el factor más importante cuando se elige el tipo de colector. Un absorbedor descubierto, no será apto para obtener temperaturas elevadas (Figura 53).

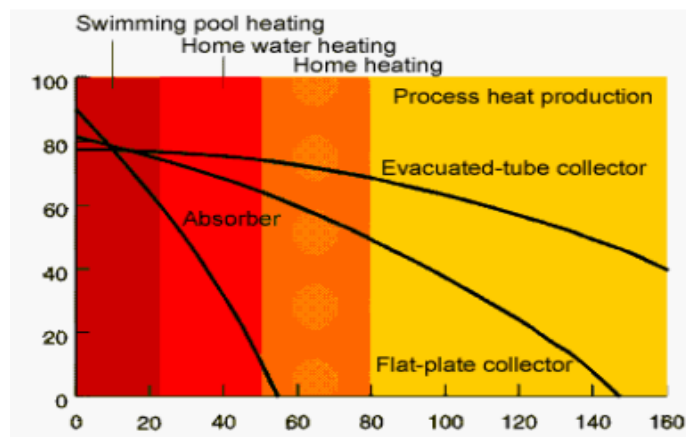
La cantidad de radiación del lugar, la exposición a tormentas y granizo, y la cantidad de espacio que se necesita, deben ser cuidadosamente examinadas cuando se planifica un sistema solar.

Los costos específicos de los colectores también son importantes. Los tubos colectores al vacío son sustancialmente más caros que los colectores de placa plana. Un buen colector no garantiza un buen sistema solar.

- **Eficiencia de un colector solar:** La eficiencia de un colector solar se define como el cociente de la energía térmica útil frente a la energía solar total recibida. Además de las pérdidas térmicas existen las pérdidas ópticas. El factor de conversión u eficiencia óptica indica que porcentaje de los rayos solares que penetran en la cubierta transparente del colector (la transmisión) es absorbido.

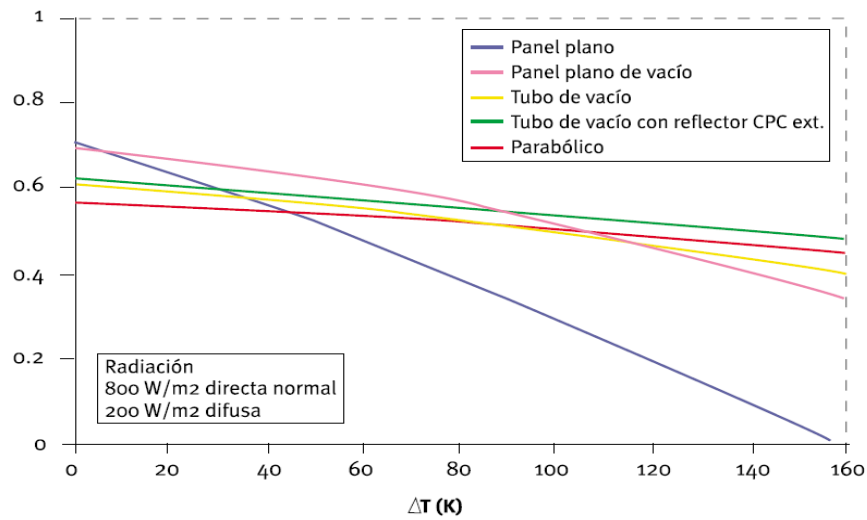
Básicamente, es el producto de la tasa de transmisión de la cubierta y la tasa de absorción del absorbedor (Figura 52).

Figura 53. Variación de la eficiencia, en distintos tipos de colectores, en función de la diferencia de temperatura del agua entre la salida y la entrada del colector.



Fuente: RITTER SOLAR

Figura 54. Eficiencia de colectores solares



Fuente: RITTER SOLAR

En la (tabla 27) se muestran valores típicos de los parámetros característicos eficiencia óptica ( $\eta_0$ ) y coeficiente global de pérdidas ( $U_L$ ) y rango normal de temperaturas de trabajo para distintos tipos de colectores:

Tabla 27. Parámetros Característicos de los distintos tipos de colectores solares

Tipo de colector	Factor de Conversión ( $\eta_0$ )	Factor de Pérdidas Térmicas $U_L$ ( $W/m^2$ ) °C	Rango de Temperatura (°C)
Sin Cubierta	0,90	15 - 25	10 – 40
Cubierta Simple	0,80	7	10 – 60
Cubierta Doble	0,65	5	10 – 80
Superficie Selectiva	0,80	5	10 – 80
Tubos de Vacío	0,70	2	10 – 130

Fuente: CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar)

- **El colector solar plano.** Existen tres tipos de lo cual mencionaremos a continuación de forma general:

a) *Colector de baja temperatura.* Este colector está conformado de una manta flexible de caucho o de un material de esta naturaleza. La cual posee varios conductos, este colector es semejante a un colchón hinchable o inflable, es económico, de fácil instalación y portátil.

Su desventaja principal es su muy bajo rendimiento térmico.

Este colector se puede utilizar para el calentamiento de agua de piscina siempre y cuando su demanda energética sea baja además se requiere utilizar espacios extensos disponibles para su uso.

*b) Colector plano no concentrador con cubierta transparente.* También se denominan de forma más sencilla como el colector de placa plana. Estos colectores operan con temperaturas de salidas de hasta 50°C (122°F).

Esta clase de colector corresponde al más utilizado en los sistemas de calentamiento de agua. En lo referente a su diseño, su área unitaria suele ser de 2m<sup>2</sup> (21.5 ft<sup>2</sup>) y se disponen de venta en el mercado. Tiene un fácil manejo de transporte e instalación hidráulica. El diseño de estos colectores que es de nuestro interés se explicará más adelante.

*c) Colector plano de baja concentración:*

Este modelo puede proporcionar temperaturas de salida de hasta 80°C (176°F). Su diseño viene en múltiples formas pero su disponibilidad en el mercado es escasa. Algunos colectores de este tipo operan con otros líquidos además del agua.

**Conceptos básicos de un sistema de captación:** Para esto debemos considerar el tipo de captador solar:

- **Cubierta:** Elemento o elementos transparentes (o translúcidos) que cubren el absorbedor para reducir las pérdidas de calor y protegerlo de la intemperie.
- **Absorbedor:** Componente de un captador solar cuya función es absorber la energía radiante y transferirla en forma de calor a un fluido.
- **Placa absorbente:** Absorbedor cuya superficie es plana.

- **Área de apertura:** Es la máxima proyección plana de la superficie del captador transparente expuesta a la radiación solar incidente no concentrada.
- **Área total:** Área máxima proyectada por el captador completo, excluyendo cualquier medio de soporte y acoplamiento de los tubos expuesta.
- **Fluido de transferencia de calor o fluido de trabajo:** Es el fluido encargado de recoger y transmitir la energía captada por el absorbedor.
- **Carcasa:** Es el componente del captador que conforma su superficie exterior, fija la cubierta, contiene y protege a los restantes componentes del captador y soporta los anclajes del mismo.
- **Materiales aislantes:** Son aquellos materiales de bajo coeficiente de conductividad térmica cuyo empleo en el captador solar tiene por objeto reducir las pérdidas de calor por la parte posterior y laterales.

#### 4.9 Dimensionado de la superficie de los captadores (PESÁNTEZ ENCALADA, 2012)

Para el cálculo del dimensionado de instalaciones a medida podrá utilizarse cualquiera de los métodos de cálculo comerciales de uso aceptado por proyectistas, fabricantes e instaladores.

El método de cálculo especificará, al menos sobre base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y del aporte solar.

Asimismo, el método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por:

- La demanda de energía térmica.
- La energía solar térmica aportada.
- La fracción solar media anual.



- El rendimiento medio anual.

Para determinar la energía neta captada por metro cuadrado de colector, se debe considerar su rendimiento.

El área de captación necesaria se calcula según (ecuación 56).

$$\frac{\text{Perdidas año}}{E_{\text{neto anual}}} \quad (56)$$

$$A_{\text{cap}} = \frac{442174,4328 \text{ MJ}}{3843,60 \text{ (MJ/m}^2\text{)}} = 115,042 \text{ m}^2 \approx 116 \text{ m}^2$$

La serie seleccionada es la CPC OEM, con las siguientes áreas de captación.

Tabla 28. Características captador solar

Series		CPC 6 OEM	CPC 12 OEM	CPC 18 OEM
Number of evacuated		6	12	18
$\eta_0$ (Aperture area) DIN 4757-4 OR en 12975	%	66,1	66,1	66,1
grid measurements (length, height, depth)	m	0,70 x 1,64 x 0,1	1,39 x 1,64 x 0,1	2,08 x 1,64 x 0,1
gross area	m <sup>2</sup>	1,14	2,28	3,41
aperture area	m <sup>2</sup>	1	2	3
absorber capacity	I	0,8	1,6	2,4

Fuente: Autor

Se toma las áreas para cada tipo de colector:

$$A_{\text{abs}} = 1 \text{ m}^2 \text{ CPC 6 OEM}$$

$$A_{abs} = 2 \text{ m}^2 \text{ CPC 12 OEM}$$

$$A_{abs} = 3 \text{ m}^2 \text{ CPC 18 OEM}$$

Dónde:

$A_{abs}$  = Es el área de absorción de cada captador solar seleccionado

#### **4.10 Determinación del número de colectores solares**

El cálculo del número de colectores que debe tener una estación para el aprovechamiento de la energía solar resulta un proceso largo y complejo, para lo cual se destacan diferentes parámetros considerados en el cálculo:

- El Punto geográfico de la zona.
- Horas de sol disponibles.
- Trayectoria aparente del sol para el punto geográfico (cartas solares).
- Cantidad de energía recibida por unidad de área y tiempo.
- Energía recibida a lo largo del día, mes año.
- Factores microclimáticos.
- La demanda energética.

Como se ha mencionado anteriormente, en los diseños de colectores solares planos, su área unitaria suele ser de  $2 \text{ m}^2$ .

Involucrando parámetros físicos de una piscina para la determinación del número de colectores, éstas básicamente son:

- Área superficial de la piscina

- Temperatura deseada de la piscina.

Existen básicamente 3 métodos de determinación del número de colectores necesarios para climatizar una piscina:

- Método por el área superficial de la piscina (método tradicional, directo y sencillo), pero el cual no nos garantiza confiabilidad en sus resultados.
- Método analítico de cálculo termodinámico de relación de demanda energética anual y la energía anual aprovechada (método de gran confiabilidad en sus resultados).
- Método de determinación mediante el uso de software o programas solares.

Este método consiste en calcular la demanda energética requerida para climatizar una piscina y la energía neta aportada a el colector de dimensionamiento y material definido.

Como involucra el cálculo de energía neta aportada, se requerira el cálculo de radiación solar total del transcurso del año obteniendo valores globales mensuales y aplicar un criterio conservador de selección de la cantidad de radiación.

El número de captadores necesario se calcula con la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de captadores necesarios} = \frac{\text{Área necesaria de captación}}{\text{Área del modelo elegido}} \quad (57)$$

- **Opción 1:**

$$N_{cap} = \frac{115,042 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 115,042 \approx 116$$

- **Opción 2:**

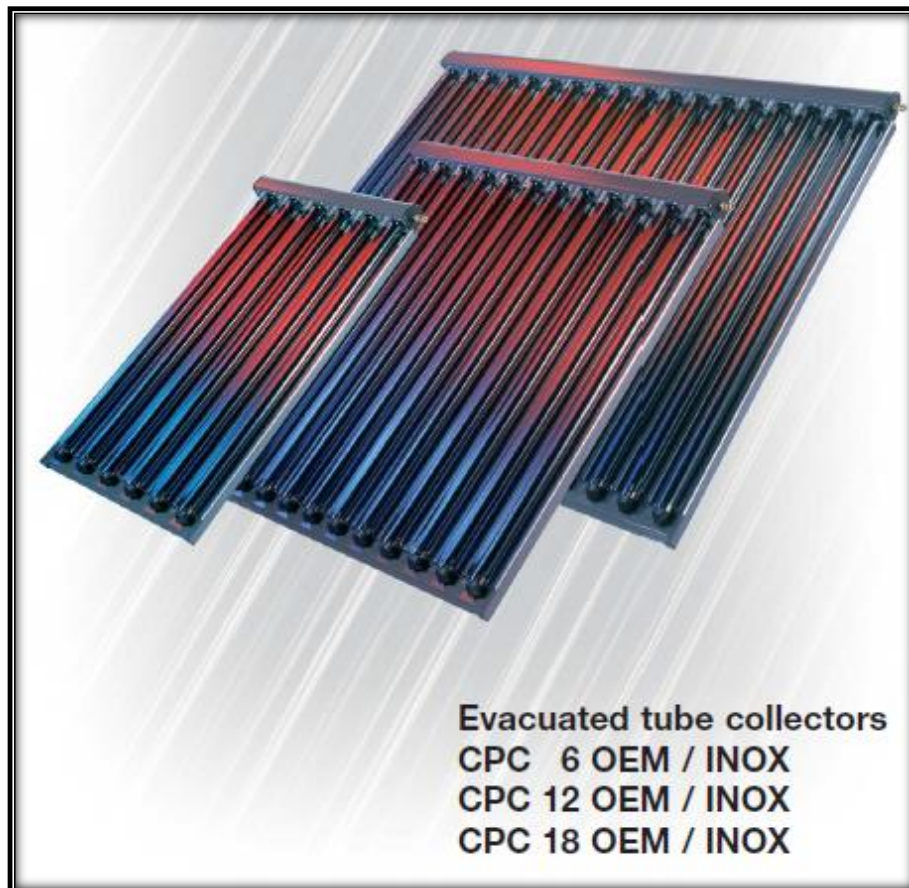
$$N_{cap} = \frac{115,042 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2} = 57,521 \approx 58$$

- **Opción 3:**

$$N_{cap} = \frac{115,042 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2} = 38,347 \approx 39$$

Colectores solares modelo CPC 12 OEM.

Figura 55. Modelos según el área de captación del colector solar plano



Fuente: RITTER SOLAR

Tabla 29. Energía captada mensualmente por el equipo térmico seleccionado.

MES	$E_{netames}$ (MJ/m <sup>2</sup> ) (MJ/m <sup>2</sup> )	$A_{cap}$ m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	$E_{cap}$ (MJ) (MJ/m <sup>2</sup> )
Enero	341,09	115,042	39 239,676
Febrero	266,85	115,042	30 698,957
Marzo	366,89	115,042	42 207,759
Abril	358,25	115,042	41 213,796
Mayo	339,56	115,042	39 063,662
Junio	281,68	115,042	32 405,031
Julio	315,97	115,042	36 349,821
Agosto	329,78	115,042	37 938,551
Septiembre	313,60	115,042	36 077,172
Octubre	351,43	115,042	40 429,210
Noviembre	225,00	115,042	25 884,450
Diciembre	353,49	115,042	40 666,196
<b>TOTAL</b>	<b>3 843,60</b>		<b>442 174,282</b>
<b>MEDIA</b>	<b>320,30</b>		<b>36 847,856</b>

Fuente: Autor

#### 4.11 Configuración de los colectores (DÍAZ POOLS, Piscinas, 2012)

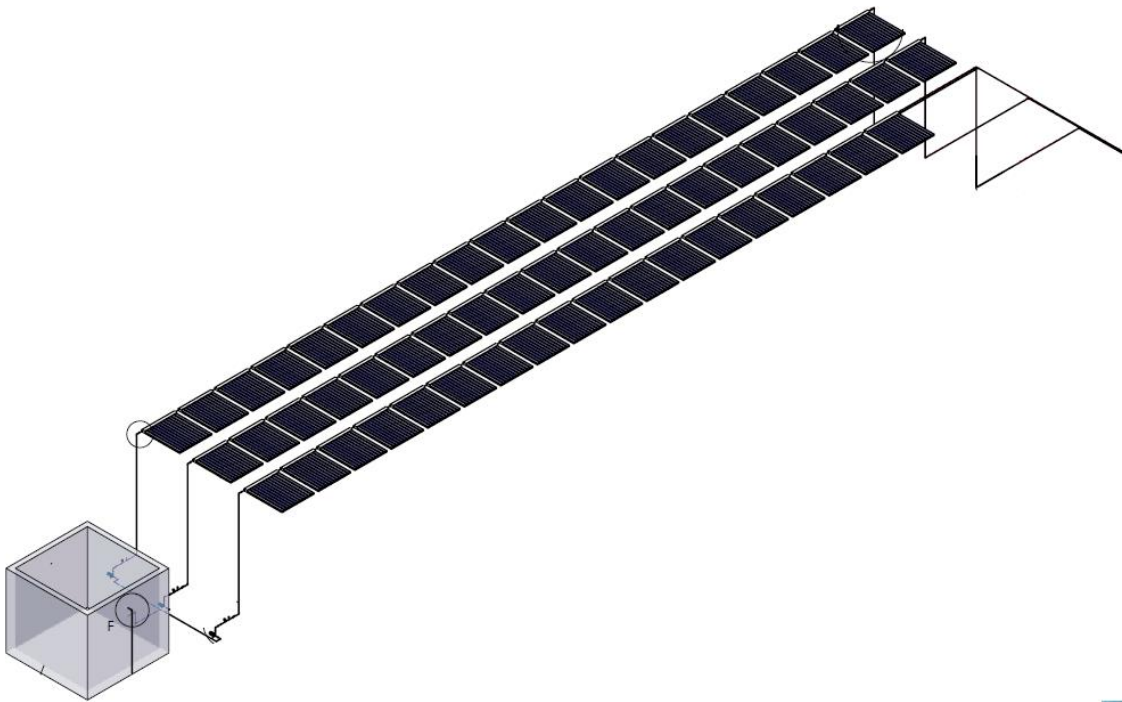
Se recomienda que los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos.

Teniendo en cuenta el modelo de colector seleccionado y la orientación e inclinación tomadas, el campo de colectores está constituido por 58 captadores.

Estos 58 colectores van a estar conectados en tres filas de 20 colectores, el conexionado se realizará mediante la técnica del retorno invertido de modo que el circuito quede equilibrado aun si no se instalaran válvulas de equilibrado.

El esquema general de conexiones del campo de captación es el siguiente:

Figura 56. Esquema de conexión del sistema de captación



Fuente: Autor

Como estructura de soporte se utilizará el modelo recomendado por el fabricante: “Estructura para 3 captadores CR 12 cubierta plana 45°”. Se montarán 20 estructuras de soporte, de tres colectores cada una, para el conjunto de la instalación.

**4.11.1 Distancia entre filas de colectores.** Distancia entre filas de colectores. La distancia de separación entre las distintas filas de colectores es un parámetro importante para evitar posibles pérdidas por sombras producidas por una fila de colectores sobre la siguiente fila.

Para asegurar el mejor aprovechamiento de la radiación incidente sobre las placas se deben cumplir las distancias mínimas recomendadas por el RITE en la ITE 10.1.3.1 .

En este documento se establece la distancia mínima que debe existir entre filas de colectores, así como la distancia mínima entre la primera fila de colectores y los obstáculos que puedan existir ante la primera fila.

La distancia de separación entre filas de colectores es:

$$d = k * h \tag{58}$$

Dónde:

d = Separación entre filas.

H = Altura del colector.

K = Coeficiente que se obtiene a partir de una tabla en función de la inclinación del colector con el plano horizontal.

La tabla que relaciona la inclinación con el valor del coeficiente k es la siguiente:

Tabla 30 . Relación entre la inclinación y el coeficiente k de separación entre filas

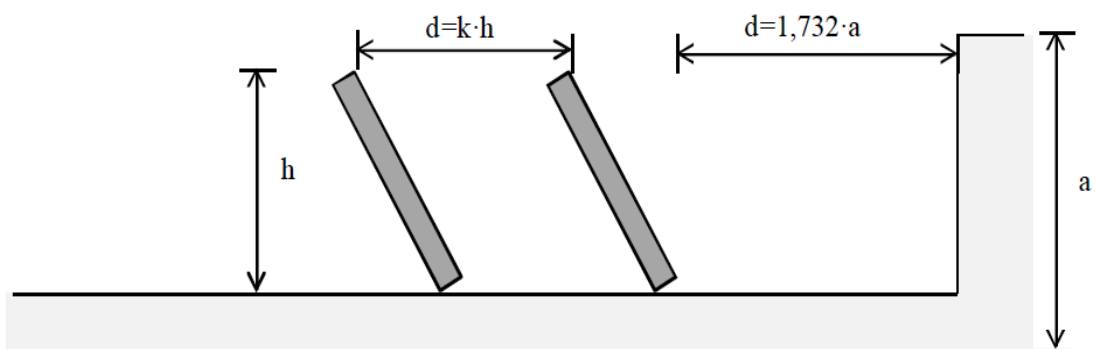
Inclinación [°]	20	25	30	35	40	45	50	55
Coeficiente k	1,532	1,638	1,732	1,813	1,879	1,932	1,97	1,992

Fuente: Autor

La distancia mínima de separación entre la primera fila de colectores y un obstáculo es:

$$d = 1,732 a \tag{59}$$

Figura 57. Representación de la separación de la primera fila de colectores



Fuente: Planning Guide – Evacuated tube collectors

En el caso de estudio, teniendo en cuenta que la altura del colector es de 2,2 metros y la inclinación de 45° y la altura del muro interior de la terraza (a) 1,2 m, los parámetros obtenidos son:

$$h = 1,56 \text{ m}$$

$$k = 1.932$$

$$d = 3.01 \text{ m (separación entre filas)}$$

$$d = 2,08 \text{ m (separación de la primera fila)}$$

**4.11.2 Selección de la estructura soporte.** Para la estructura soporte de apoyo de los captadores se recomienda la selección de un equipo ya diseñado, por múltiples ventajas económicas y de facilidad para su montaje pues estas ya son diseñadas bajo diferentes normativas y garantizan un óptimo desempeño del captador, permitiendo incluso modificar su ángulo de inclinación si el caso lo requiriere.

Cabe recalcar que un kit ya diseñado también nos ofrece la posibilidad de ser de fácil desmontaje debido a la versatilidad de su diseño, adaptándose a cualquier tipo de requerimiento.

Este equipo de soportes o kits está formado por perfiles de acero normalizados, cortados, taladrados y posteriormente galvanizados en caliente para resistir los efectos de la intemperie. La unión entre las distintas barras que componen la estructura se realiza mediante tornillería de seguridad de acero inoxidable. Son estructuras estándar para 1, 2 y 3 captadores que se unen entre si para formar baterías de 4, 5 y 6 unidades.

El peso de cada panel se transmite a un triángulo soporte formado por tres barras atornilladas entre sí. Los captadores se fijan a la estructura a través de garras de sujeción realizadas a medida (3-4 barras por panel), estando este parámetro en dependencia del tipo de superficie donde se van a colocar los captadores.



Según sea la forma de la superficie donde se van a instalar los captadores se realiza la selección de la estructura, para una superficie plana o inclinada.

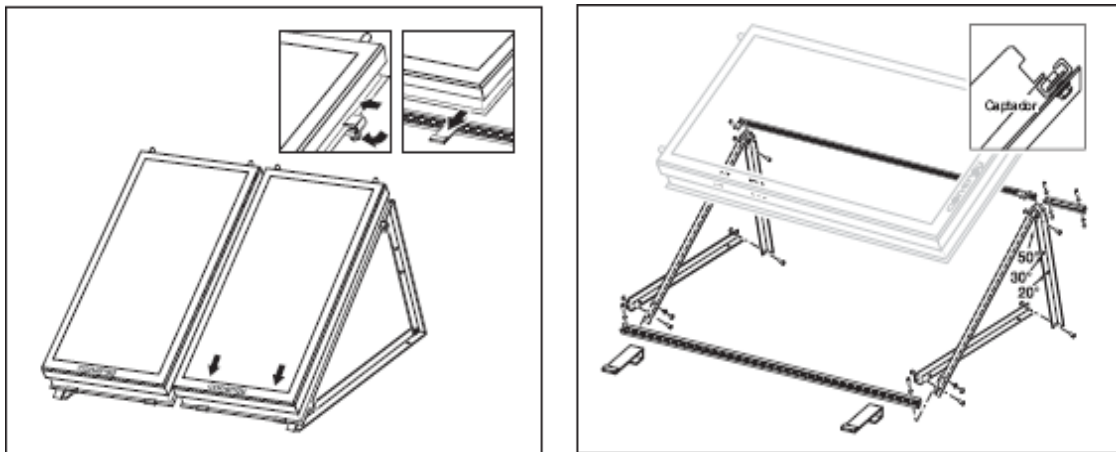
Para la colocación de los captadores solares planos se ha elegido una estructura soporte calculada y diseñada por los mismos fabricantes que los captadores capaz de soportar las acciones exteriores de la zona. Las características de esta estructura soporte se describen a continuación.

Perfiles laminados en L de acero galvanizado capaces de soportar las acciones climatológicas exteriores y resistentes a la corrosión del ambiente.

Regulación de diferentes ángulos de inclinación ( $15^\circ$ ,  $35^\circ$  y  $45^\circ$ ), permitiendo la inclinación óptima para la instalación. Diseñada para alojar una batería de tantos captadores solares como se desee.

La estructura quedará montada y anclada sobre el techo con los elementos que proporciona el fabricante.

Figura 58. Estructura soporte de los colectores solares



Fuente: Planning Guide – Evacuated tube collectors

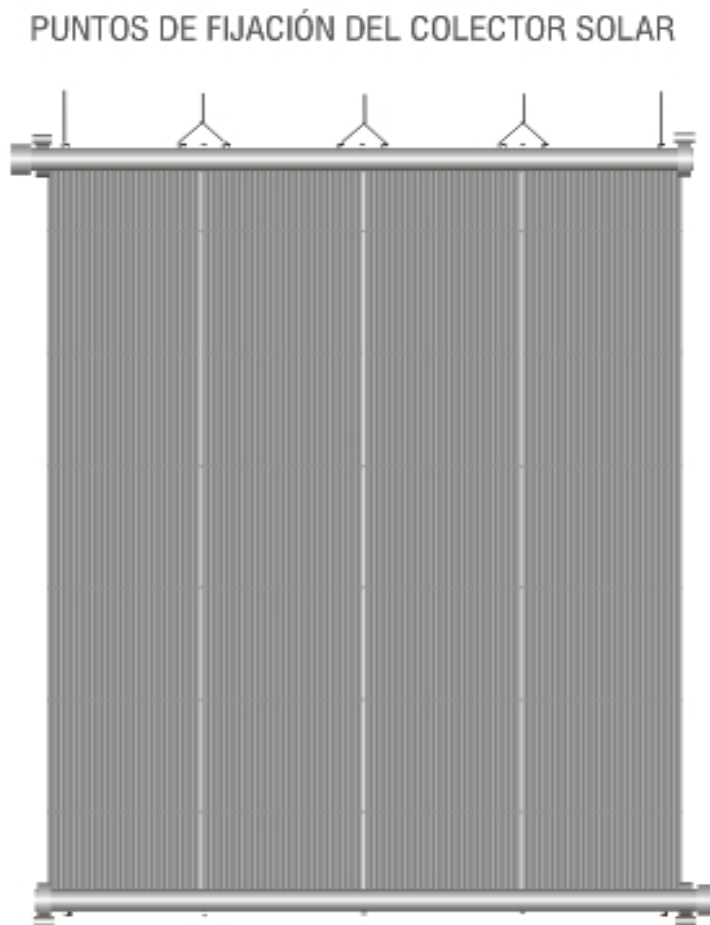
### **Fijación de los colectores solares**

Concluida la instalación hidráulica del sistema solar, es importante fijar los colectores correctamente, considerando las siguientes recomendaciones para evitar

problemas de deformación del producto y daños causados por fenómenos de la naturaleza (vientos, lluvia, etc.).

- Fijar los colectores solamente en la parte superior permitiendo su dilatación.
- Utilizar alambre de cobre o acero galvanizado de buena calidad.
- Para evitar la formación de “barrigas” en los colectores, se debe fijarlos bien alineados.
- Los colectores deben ser fijados en todos los puntos de fijación, como lo indicado en la figura.

Figura 59. Puntos de fijación de los colectores



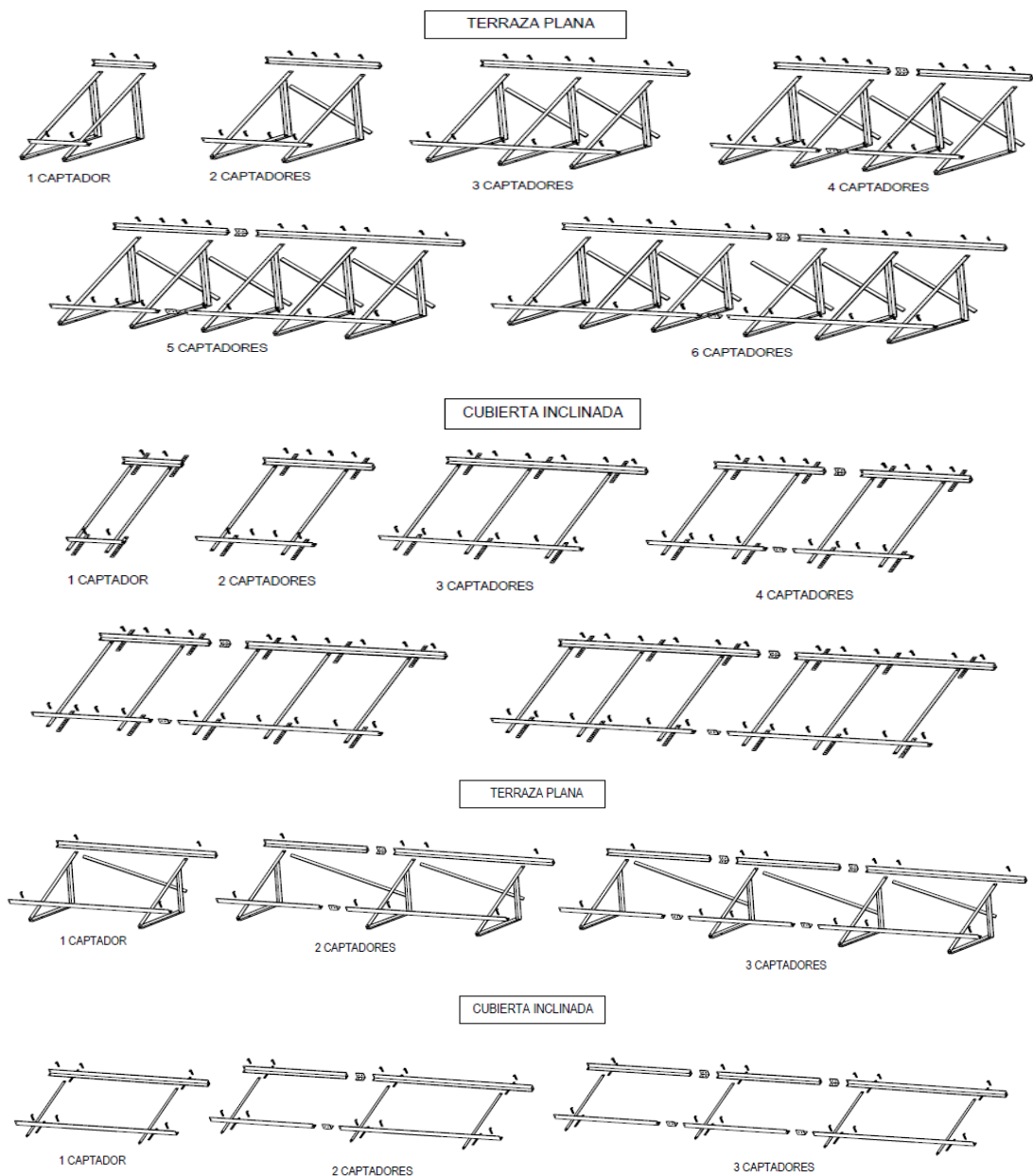
Fuente: Planning Guide – Evacuated tube collectors

La instalación permitirá el acceso a los captadores de forma que su desmontaje sea posible en caso de rotura, pudiendo desmontar cada captador con el mínimo de actuaciones sobre los demás.

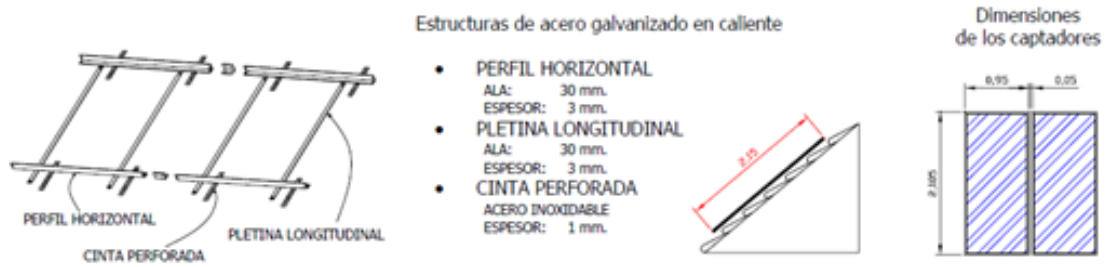
Las tuberías flexibles se conectarán a los captadores utilizando, preferentemente, accesorios para mangueras flexibles.

Cuando se monten tuberías flexibles se evitará que queden retorcidas y que se produzcan radios de curvatura superiores a los especificados por el fabricante.

Figura 60. Kit de estructura soporte



## CAPTADORES CS1N Ó CS1S. CUBIERTA INCLINADA



Fuente: Planning Guide – Evacuated tube collectors

### 4.12 Dimensionamiento del sistema hidráulico

El circuito hidráulico se realizará en cobre, cumpliendo la ISO/TR 10217 y la UNE-EN 806-1, material que se ha elegido por tener unas altas prestaciones en cuanto a resistencia a corrosión, maleabilidad, ductilidad e inocuidad, además de ser económicamente muy competitivo.

En el diseño del circuito hidráulico se han distribuido los captadores y el trazado de las tuberías con cierto grado de simetría con la finalidad de conseguir un circuito hidráulico equilibrado, por lo que en principio no son necesarias válvulas de equilibrado para controlar flujos.

#### Elementos del sistema hidráulico

- **Bomba de impulsión:** La bomba de impulsión es el elemento encargado de compensar la pérdida de carga del fluido a lo largo del circuito hidráulico y además, de aportar la presión deseada en el circuito.

Las bombas utilizadas en los sistemas de energía solar son de tipo centrífugo para vencer la resistencia del flujo en las tuberías y poder aportar la presión requerida en cualquier punto.

- **Tuberías:** Las tuberías son los elementos que componen el sistema de distribución hidráulico de la instalación.

En cualquier instalación solar térmica existen, como mínimo, dos circuitos hidráulicos. En el circuito primario, del que forman parte los captadores y el intercambiador de calor, el fluido se encarga de recoger la energía solar y transferirla al depósito de acumulación. En el circuito secundario, el fluido recoge la energía transmitida por el primario y va hasta el sistema de energía auxiliar de soporte.

Los circuitos primario y secundario tienen requerimientos muy distintos, principalmente térmicos, por lo que al diseñarlos se deberá tener en cuenta la posibilidad de utilizar materiales distintos.

Según la configuración de la instalación el tamaño de cada circuito puede variar. En un circuito con acumulación centralizada el depósito se encuentra cerca de los colectores por lo que es un circuito más pequeño que el secundario. En la acumulación distribuida, sin embargo, el depósito se encuentra en cada vivienda por lo que requiere un circuito considerablemente mayor.

Al diseñar el circuito hidráulico se tendrán que tener en cuenta varios factores para mejorar el rendimiento del circuito. En primer lugar, hay que intentar hacer el circuito lo más corto posible para, aparte de abaratar costes, disminuir las pérdidas. Igualmente este circuito deberá estar suficientemente aislado para disminuir las pérdidas al máximo.

Igualmente, es muy importante prever que el circuito debe estar equilibrado, principalmente en la zona de captadores, para evitar así caminos preferentes para el flujo y por lo tanto una disminución de rendimiento.

Esto significa que el recorrido lineal que se haga por cada una de las baterías de captadores debe ser el mismo para conseguir la misma pérdida de carga técnica llamada retorno invertido. Si el equilibrado por diseño no es factible se deberán instalar válvulas de equilibrado para controlar el caudal en cada punto de derivación.

- **Válvulas:** Las válvulas son mecanismos que se encargan de impedir o controlar un flujo a través de una tubería.

En las instalaciones solares térmicas éstas se usan para distintas funciones tales como aislamiento, llenado, vaciado, equilibrado, purga o seguridad, existiendo, para cada una de las funciones, algunos tipos o modelos más adecuados. Los principales tipos de válvulas que se pueden encontrar son:

- a) **Válvulas de esfera:** El elemento de cierre es una bola con un orificio cilíndrico.

Cuando este orificio está orientado en la dirección del flujo permite el paso del fluido y obtura el paso cuando está en posición perpendicular. Resisten elevadas temperaturas y presiones.

- b) **Válvulas de compuerta:** El cierre se produce con una compuerta en forma de cuña que se ajusta a dos planos inclinados. Al no obligar a variar la dirección del flujo hay una menor pérdida de carga pero acusan problemas de estanqueidad.

- **Determinación del caudal de diseño.**

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{(k)(A_{\text{abs}})}{N_{\text{cap}}} \quad (60)$$

Dónde:

$A_{\text{abs}}$  = Área de captación solar ( $m^2$ )

$Q_{\text{diseño}}$  = Caudal que circula por los captadores solares puestos en serie ( $\frac{lt}{min}$ )

$N_{\text{cap}}$  = Número de captadores.

K = Factor de corrección.

Se tiene un factor de corrección  $k$  el cual está en dependencia del tipo de configuración de los captadores teniendo los siguientes valores:

Tabla 31. Coeficiente de corrección según la configuración de los captadores

k	0,7	Captadores en paralelo
	1	Captadores en serie

Fuente: Autor

El caudal de diseño se determina en función del tipo de instalación y del área de captación solar, con los siguientes datos:

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{(1,0)(116)}{58} \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 2,0 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

Sin embargo para estos colectores solares se recomienda un caudal de diseño de 2,4 lt/min, siendo mandatorio este valor pues de este parámetro depende el óptimo desempeño del equipo, por otra parte este valor está dentro de un rango favorable.

$$Q_{\text{diseño}} = 2,4 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

- **Dimensionado de tuberías de conducción de agua caliente**

Se tiene una velocidad del fluido recomendada, entonces se realiza el análisis del diámetro.

$$V \cdot A = Q_{\text{diseño}} \tag{61}$$

Dónde:

$V$  = Velocidad del fluido que circula por el interior de la tubería.

$A$  = Área transversal de la tubería.

$Q_{diseño}$  = Caudal de diseño.

El área de una sección circular es:

$$A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad (62)$$

Dónde:

$\phi$ : Es el diámetro interior de la tubería seleccionada.

$$Q = V * A \quad (63)$$

$$\phi = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot V}} \quad (64)$$

Los diámetros de tuberías comerciales tanto para acero galvanizado como para PVC y polipropileno siguen las siguientes especificaciones: el diámetro mínimo de tubería seleccionada para la interconexión entre el tanque acumulador y los captadores solares deberá ser tal que cumpla con las siguientes condiciones:

$$Q_{diseño} = 2,4 \frac{\text{lt}}{\text{min}} ; \quad V = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Según la (ecuación 64) el diámetro de tubería es:

$$\phi = 2 \cdot \sqrt{\frac{4 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$\phi = 4,12 \text{ mm}$$



Tabla 32. Características para tubería de polipropileno.

Medida	Esp. Pared (mm).	Ø Exterior (mm).	Ø Interior (mm).	Presión Nominal (kg/cm <sup>2</sup> )	Nº Filetes (NPT)
3/4"	3,9	26,9	19,1	10	máx.=10 min=9
1"	4,9	33,7	23,9	10	Max=8 min=6
1 1/4"	5,7	42,2	30,8	10	Max=9 min=7
1 1/2"	6,3	48,2	35,6	10	Max=9 min=7
2"	7,5	60,3	45,3	10	Max=11 min=9
2 1/2"	9	76,1	58,1	10	Max=10 min=8
3"	10,3	88,9	68,3	10	Max=11 min=9
4"	12,7	114,3	88,9	10	Max=12 min=10

Fuente: Norma IRAM 13479

El diámetro comercial superior al requerido es de 1/2", esto según la tabla 33, se determinará la pérdida de carga generada por metro lineal de tubería.

La tubería de polipropileno de diámetro comercial de 1/2", tiene las siguientes características:

$$\phi_{\text{int}} = 0,0145 \text{ m}$$

$$\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,000891 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\rho = 997,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

La velocidad interior del fluido se calcula mediante la (ecuación 61).

$$V = \frac{4Q}{\pi \cdot \phi^2}$$

$$V = 0,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El número de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (65)$$

$$\text{Re} = 8015,21$$

La rugosidad relativa se es:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015 \text{ mm}}{14,5 \text{ mm}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 1,03 \times 10^{-4}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0,04013$$

La pérdida de carga por metro de tubería:

$$H_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (66)$$

$$H_f = 0,04013 \frac{1,0 \text{ m}}{0,0145 \text{ m}} \times \frac{(0,28 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \left( 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)}$$

$$H_f = 0,00712 \text{ m. c. a}$$

### Selección de la bomba de circulación

- **Bomba de Recirculación**, las bombas de recirculación son elementos accionados por un motor eléctrico, capaces de suministrar al fluido una cantidad de energía

suficiente para hacerlo circular a través de un circuito, venciendo las pérdidas de carga existentes en él.

La función que tiene la bomba es asegurar que el calor obtenido gratuitamente por el sol se transmita al kit solar compensando la presión que este requiere para su buen funcionamiento como crear mayor presión al sistema. Se acciona directamente a través de un automático instalado cuando hay demanda de agua.

Para el cálculo de la potencia necesaria para la bomba es necesario un cálculo de las pérdidas de presión que se produce en el circuito, teniendo en cuenta todos sus elementos (tuberías, accesorios, válvulas).

### **Pérdidas de carga por fricción en tuberías**

$$\Delta P_{tub} = \frac{1}{2} \rho V^2 \left( f \left( Re, \frac{\epsilon}{D} \right) \frac{L + \sum K}{D} \right) \quad (67)$$

Dónde:

$\rho$  es la densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

$f$  es el coeficiente de fricción.

$L$  es longitud del tubo [m].

$V$  es la velocidad del fluido por el interior del conducto [m/s].

$D$  es el diámetro del conducto [m]

$K$  es el coeficiente de pérdidas de cada elemento.

La velocidad del fluido en el circuito es 1,3 m/s de forma continua, cumpliendo con los requerimientos de la CTE que establece esta como velocidad mínima.

El número de Reynolds para esta configuración es:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Dónde:

$\rho$  es la densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

V es la velocidad del fluido por el interior del conducto [m/s].

D es el diámetro del conducto [m]

$\mu$  es la viscosidad dinámica del fluido [kg/m s].

Obteniéndose un valor para este parámetro de 2270.

El otro parámetro necesario para el cálculo del coeficiente de fricción, se calcula según:

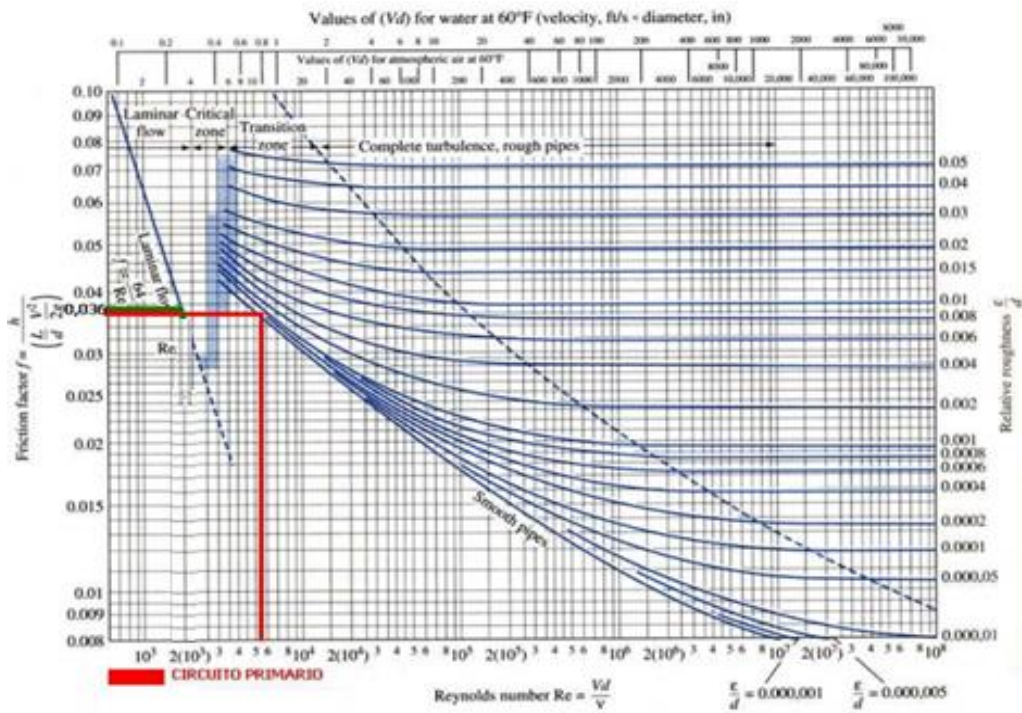
$$F_R = \frac{\varepsilon_r}{D}$$

Dónde:

- $\varepsilon_r$  es la rugosidad del tubo [m].
- D es el diámetro interior del tubo [m]

Y que ofrece el valor, 0,00014. Conocido este valor entramos en el diagrama de Moody para obtener el valor del coeficiente de fricción, como se muestra:

Figura 61. Diagrama de Moody.



Fuente: Ashrae

Además de las pérdidas por fricción en tuberías, se producen pérdidas de carga en los distintos elementos, caracterizados por un coeficiente de pérdidas K. Esta información se recoge en la siguiente tabla.

Tabla 33. Pérdida de carga en elementos del circuito

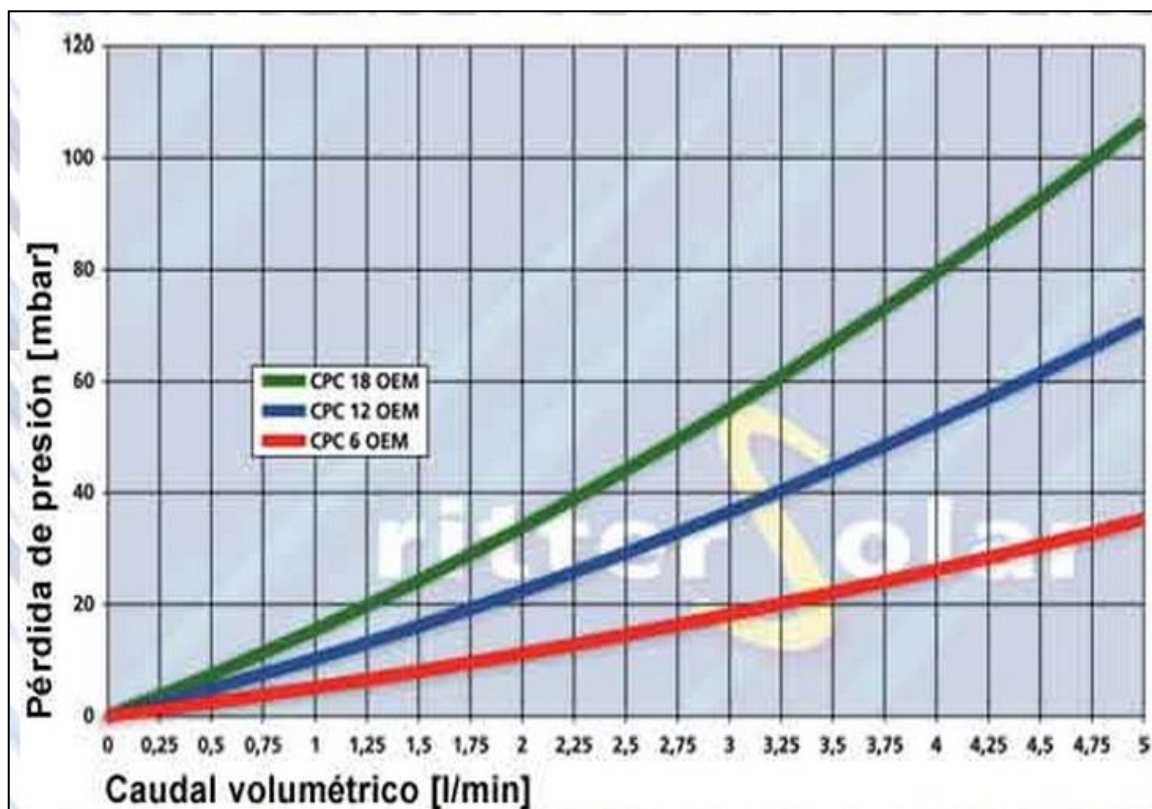
Elemento	K
Codo 90°	1
Reductor	0,3
Ensanchamiento	0,4
Válvula de esfera	14

Fuente: Autor

Dando un resultado de:

$$\Delta P_{tubería} = 4054550 \text{ Pa}$$

Figura 62 . Pérdida de carga producida por el paso del agua a través del captador solar seleccionado [mbar].



Fuente: RITTER SOLAR

Tabla 34. Pérdida de cargas

Cantidad	Denominación	Pérdida de carga (m.c.a)
20,00	Captador solar CPC 12 OEM	19,5632
15,00	Accesorios	0,956

Fuente: Autor

Dando un resultado de:

$$\Delta P = 34\,450 \text{ Pa} \quad (68)$$

La potencia requerida para la bomba es el resultado de multiplicar las pérdidas de carga por el caudal del mismo (en m<sup>3</sup>/s). Así se necesitará:

$$P_b = 162,182 \text{ w}$$

Se opta para la instalación por una bomba WILO STAR ST 25/6 diseñada específicamente para el bombeo de sistemas solares, con carcasa de fundición gris con protección de cataforesis, rodete de polipropileno reforzado con fibra de vidrio y eje de acero inoxidable con cojinetes de grafito.

Figura 63. Bomba de circulación WILO STAR.



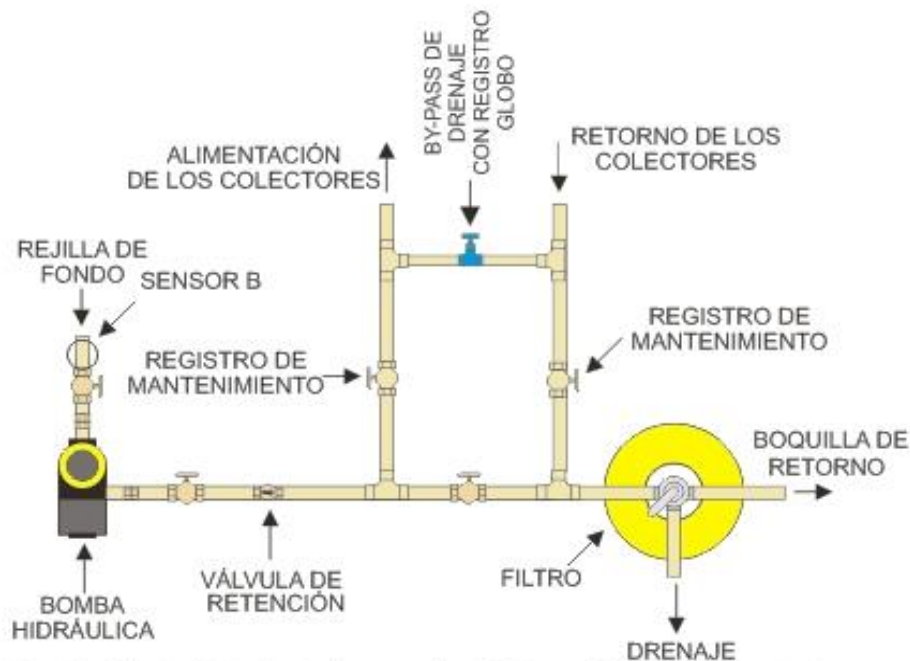
Fuente: WILO STAR

**4.12.1 Interconexión entre el Sistema Solar y la Sala de Máquinas.** El circuito hidráulico de los sistemas de filtración de las piscinas tienen características variadas, esto es debido a diferentes motivos:

Espacio de la sala de máquinas, régimen de filtración, instalación de accesorios, etc. A pesar de eso, la idea básica para inserción del sistema solar en la piscina puede ser montada con base en la (figura 66).

La tubería de la rejilla de fondo y retorno de la piscina debe ser compatible con el flujo del sistema solar.

Figura 64. Esquema recomendado para piscinas con tiempo de filtrado menor o igual a 8 horas.



Figur18– Circuito Hidráulico de Interconexión del Sistema Solar y Sala de máquinas.

Fuente: [www.solenergy.com](http://www.solenergy.com)

No es recomendable el uso de tubería inferior a 40mm debido a la pérdida de carga que el tubo ofrece a la bomba.

### Interconexión Independiente

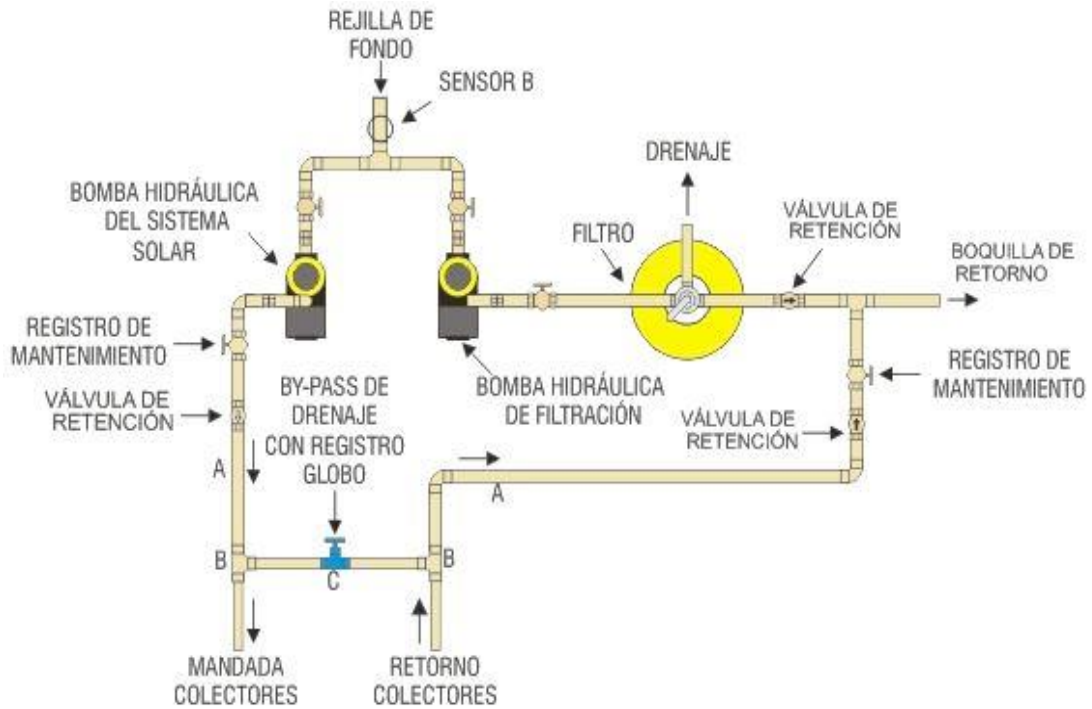
La tubería de la rejilla y retorno de la piscina debe ser compatible con el flujo del sistema solar.

Las dos bombas no pueden funcionar al mismo tiempo, excepto en el caso de la tubería de rejilla de fondo y retorno sean compatibles con el flujo de las dos bombas el flujo del sistema solar. No es recomendable el uso de tubería inferior a 40mm debido a la pérdida de carga que el tubo ofrece a la bomba.

La válvula de retención, después del filtro, tiene función de evitar el “golpe de Ariete” sobre el filtro y la bomba en el momento en que la misma desarma y el agua escurre por la tubería de alimentación de los colectores.



Figura 65. Esquema recomendado para piscinas con tiempo de Filtración menor o igual a 16 horas.



Fuente: [www.solenergy.com](http://www.solenergy.com)

El registro, entre las tuberías de alimentación y retorno de los colectores (By Pass), tiene la función de permitir el drenaje de la tubería de alimentación de los colectores para la piscina.

Este deberá quedar regulado para permitir el drenaje del tubo de alimentación de los colectores. Se recomienda hacer el By Pass con válvula globo de  $\frac{3}{4}$ " con área colectora de  $116 \text{ m}^2$ .

#### 4.13 Diseño del sistema de control

Mediante este sistema de regulación y control se puede optimizar el rendimiento de la instalación y evitar que ésta alcance condiciones extremas que puedan provocar averías, por lo tanto su cometido será el de actuar sobre el funcionamiento de:

- Bombas de circulación.

- Protección del sistema.
- Control de temperatura.

El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C.

La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2 °C.

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos. En caso de que la radiación solar sea demasiado elevada o el consumo insuficiente, se activará la desconexión de la circulación de caudal.

También se instalará un manómetro junto a la válvula de seguridad, en caso que la presión supere la presión máxima establecida se parará el sistema.

Por último, se puede programar el sistema para que en caso de existir riesgos de helada la bomba se active haciendo circular el fluido y evitar así su congelación. Opcionalmente, se puede instalar una función que memorice la energía producida mediante un caudalímetro en el sistema de colección junto con un sensor de temperatura a la entrada y a la salida del campo de colectores.

Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo - nada, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.

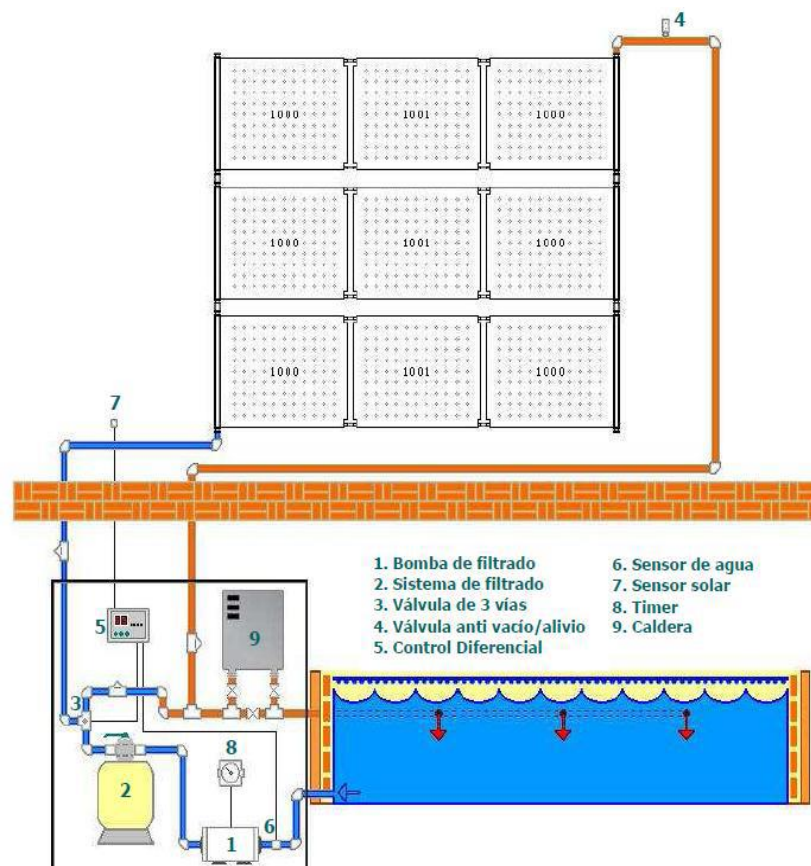
**4.13.1 Elementos del sistema de control.** Elementos del sistema de control. Los tres elementos principales del sistema de regulación y control son:

**Sensores:** Son los encargados de medir las variables a controlar en la instalación como es la temperatura.

**Regulador:** Es el dispositivo que genera una señal de control a partir del valor variable controlada y el punto de consigna. Pueden ser termostatos o reguladores proporcionales.

**Actuador:** Es el elemento que al recibir la señal de control actúa sobre la variable de operación, regulando en general el flujo de materia o energía. Pueden ser relés, contactores, válvulas de control, etc.

Figura 66. Representación del sistema de control



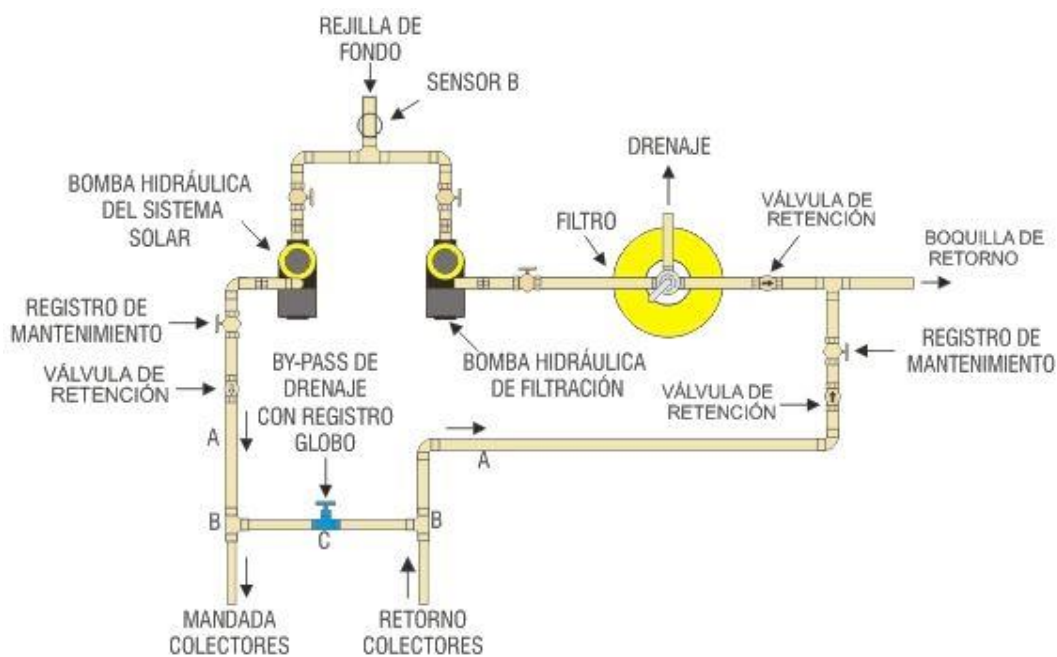
Fuente: [www.solenergy.com](http://www.solenergy.com)

**4.13.2 Funciones del sistema de control.** Funciones del sistema de control. El sistema debe impedir que las bombas del circuito primario (circuito solar) estén en funcionamiento en las horas en que la radiación no es suficiente para calentar los colectores solares, es decir, por la noche y días en los que los valores de radiación sean muy bajos, esto se realizará con el control diferencial mencionado en el apartado anterior.

**4.13.3 Instalación del controlador y de los sensores.** Instalación del controlador y de los sensores. El controlador electrónico es responsable por el gerenciamiento del accionamiento de la bomba hidráulica que alimenta los colectores solares.

La temperatura del agua de la piscina es monitoreada en la tubería de las rejillas de fondo por el sensor B y la temperatura de los colectores es monitoreada por el sensor C.

Figura 67. Diagrama de configuración de controlador y sensores



Fuente: [www.solenergy.com](http://www.solenergy.com)

**Notas Importantes:** El controlador digital debe ser instalado cerca de la casa de máquinas, para facilitar la instalación:

- El largo del cable del sensor es de 2,5 metros y puede ser aumentada por el propio usuario hasta 200 metros utilizando cable paralelo de 0,5 a 1,0 mm<sup>2</sup>;
- Certifíquese que el local donde será instalado el sensor C esté libre de sombras o de cualquier otro tipo de obstáculos que pueda enmascarar la incidencia de radiación;

- El sensor B debe ser instalado en un pozo en la tubería proveniente de las rejillas del fondo de la piscina, en la succión de la bomba hidráulica dentro de la sala de máquinas.

**Detalles de instalación de los sensores.** Detalles de instalación de los sensores B y C de los colectores:

Figura 68. Instalación de los sensores

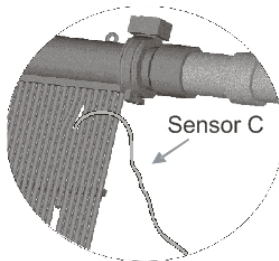


Figura 29 - Instalación del Sensor C colectores AQ

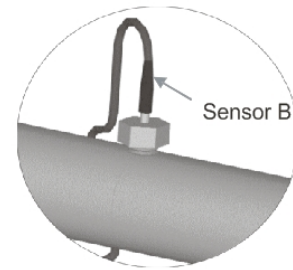


Figura 30 - Instalación del Sensor B

Fuente: [www.ecured.com](http://www.ecured.com)

#### 4.14 Mantenimiento de la instalación de energía solar térmica

El mantenimiento de una piscina mediante un sistema solar térmico es mínimo. Los sistemas son prediseñados y pueden ser adaptables a cualquier tamaño de piscina con sólo añadir nuevos paneles solares para obtener una adecuada zona de colectores solares.

Es cierto que durante la fase del diseño de la instalación solar térmica se han efectuado determinados acondicionamientos que permitirán desarrollar las operaciones de mantenimiento de un modo más eficaz.

Como principales puntos que hemos tenido en cuenta han sido:

- Distribución de sala de calderas para facilitar la accesibilidad de las labores de mantenimiento.
- Elementos de medida visual (manómetros, termómetros...) serán ubicados en lugares de fácil acceso para los posteriores trabajos de mantenimiento.

- Instalación de los elementos mecánico e hidráulico, en la que se han tenido en cuenta, al igual que otros elementos, su situación en zonas de fácil acceso para el desmontaje en caso de avería.
- Los captadores se han distribuido de manera que se permite realizar operaciones de mantenimiento, sustitución o reparación.
- Una vez tenido en cuenta todos estos aspectos se diseñará un plan de mantenimiento para su puesta en marcha.

Se definen tres partes de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma:

- Plan de revisión
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo

***a) Plan de revisión:***

Serán las actuaciones para asegurar que los valores operacionales de la instalación son correctos.

Es un plan de observación simple de los parámetros principales (captadores, circuito primario, circuito secundario) para verificar que la instalación funciona y lo más importante, que lo hace correctamente. Inspección en toda tubería de alimentación y conexiones en relación a filtraciones.

Inspección en los colectores solares, abrazaderas, adaptadores y tampones en relación a filtración, inspección, limpieza y test de funcionamiento en todos los registros, válvulas y demás accesorios.

Inspección en la fijación de los colectores solares.

En las instalaciones con colectores, hacer inspección y test de funcionamiento del sistema de drenaje de los colectores solares.

Inspección y test de funcionamiento de la alimentación eléctrica.

Test de funcionamiento de los sensores de temperatura.

Inspección y test de funcionamiento de la programación de los controladores de temperatura.

Inspección y test de funcionamiento y verificación de la corriente eléctrica de las bombas hidráulicas.

Inspección y test de funcionamiento del cuadro de comando eléctrico.

A continuación detallamos las actividades del plan de vigilancia que deberán de realizarse en la instalación de energía solar térmica.

En ella estableceremos la frecuencia mínima, en meses, de las observaciones y descripción a realizar.

Tabla 35. Plan de revisión instalación solar térmica

<b>Elemento de la Instalación</b>	<b>Operación</b>	<b>Frecuencia (meses)</b>	<b>Descripción</b>
<b>Captadores</b>	Limpieza de los tubos al vacío.	3	Con agua y Productos adecuados
	Empaques	3	Inspección visual: fugas de agua.
	Juntas	3	Inspección visual: Grietas y Deformaciones

<b>Elemento de la Instalación</b>	<b>Operación</b>	<b>Frecuencia (meses)</b>	<b>Descripción</b>
	Absorbedor	3	Inspección visual: Corrosión, deformaciones, fugas, etc.
	Conexiones	3	Inspección visual: Pérdidas, fugas de agua
	Estructura	3	Inspección visual: Degradación e indicios de corrosión
<b>Circuito Primario</b>	Tuberías, aislamiento y sistema de relleno	6	Inspección visual: Ausencia de humedades y fugas.
	Purgador manual.	3	Vaciar el aire del botellín.
	Termómetro	Diario	Inspección visual: Temperatura
<b>Circuito Secundario</b>	Tubería y aislamiento.	6	Inspección visual: Ausencia de humedades y fugas.
	Acumulador Solar	3	Purgado de acumulación de lodos en la parte inferior del depósito

Fuente: RITTER SOLAR Y Autor

### ***b) Mantenimiento preventivo***

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general.

La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas.

El mantenimiento preventivo incluye todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.



Tabla 36. Mantenimiento del Sistema de Captación.

<b>Equipo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Descripción</b>
Captadores	6 meses 6 meses	IV - Diferencias sobre original. IV - Diferencias sobre captadores.
Cristales	6 meses	IV - Condensación y suciedad
Juntas de degradación	6 meses	IV - Agrietamientos, deformaciones.
Absorbedor	6 meses	IV - Corrosión, deformaciones
Carcasa	6 meses	IV - Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración.
Conexiones	6 meses	IV - Aparición de fugas.
Estructura	6 meses	IV - Degradación, indicios de corrosión, apriete de tornillos.

Fuente: RITTER SOLAR Y Autor

Tabla 37. Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad.

<b>OPERACIÓN</b>	<b>PERIODICIDAD</b>
Revisión del nivel de agua en el vaso de expansión	Mensual
Comprobación de niveles de agua.	Mensual
Comprobación de estanquidad de circuitos de tuberías	Anual
Comprobación de estanquidad de válvulas.	Semestral
Comprobación de tarado de elementos de seguridad	Mensual
Revisión y limpieza de filtros de agua	Semestral
Revisión de bombas.	Mensual
Revisión del estado del aislamiento térmico	Anual
Revisión del sistema de control automático	Semestral

Fuente: RITTER SOLAR Y Autor

A continuación se desarrollan de forma detallada las operaciones de mantenimiento que deben realizarse en la instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

Tabla 38. Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad para el captador solar

<b>Elemento.</b>	<b>Frecuencia (meses)</b>	<b>Descripción.</b>
Captador	6	IV diferencia sobre el original.
Empaques entre tanque y tubos.	6	IV Filtración de agua, pérdida de estanqueidad.
Conexiones	6	IV Aparición de fugas.
Soporte	6	IV degradación, indicios de corrosión y apriete de pernos.
Tanque acumulador	12	Vaciado total del tanque a través del sistema de desagüe integrado.
Tubos al vacío.	12	Desmontado de cada tubo y eliminación de sedimentaciones, producidas por la acumulación de sales.
Tubos al vacío.	12	Limpieza de las paredes interiores del tubo.

IV Inspección visual

Fuente: RITTER SOLAR Y Autor

Tabla 39. Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad para el circuito hidráulico

<b>Elemento.</b>	<b>Frecuencia (meses)</b>	<b>Descripción.</b>
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión.
Aislamiento exterior.	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad.
Aislamiento interior.	12	IV uniones y ausencia de humedad.
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad.
Sistema de llenado	6	CF actuación.
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento.

CF: Control de funcionamiento

Fuente: RITTER SOLAR Y Autor

Tabla 40. Operaciones de mantenimiento preventivo para el sistema eléctrico y de control

<b>Elemento.</b>	<b>Frecuencia (meses)</b>	<b>Descripción.</b>
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación.
Termóstato	12	CF actuación.

Fuente: RRITE SOLAR y autor

Tabla 41. Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad para el sistema auxiliar de energía.

<b>Elemento.</b>	<b>Frecuencia (meses)</b>	<b>Descripción.</b>
Sistema	12	CF Actuación sondas de temperatura.

Fuente: RITTER SOLAR Y Autor

### c) **Mantenimiento correctivo**

Son operaciones realizadas como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de revisión o en el de mantenimiento preventivo.

#### **4.14.1 Documentos para el usuario:**

**Implantación del sistema:** Antes de poner el sistema en operación se debe comprobar que todas las válvulas trabajan correctamente y que el sistema está lleno completamente con agua. Precauciones en relación con el riesgo de daños por congelación o sobrecalentamiento.

**Protección contra heladas.** La mínima temperatura permitida en el sistema será de 5 °C para lo cual se regulará en el sistema de control como límite inferior una temperatura de 5 °C de tal suerte que a ésta temperatura se encienda la resistencia eléctrica y de este modo el equipo térmico solar quede protegido contra heladas.

**Protección contra sobrecalentamientos.** Se tendrá especial cuidado con la instalación en el periodo de no utilización se tomarán medidas que eviten el sobrecalentamiento por el no uso de la instalación, para lo cual se recomienda que siempre esté con agua el tanque termostato, y que el tubo abierto a la atmósfera apunte siempre hacia arriba para facilitar la evacuación de vapor.

**Comprobación en frío del nivel de agua en los vasos de expansión del circuito abierto.** El equipo térmico dispone de un sistema de control automático que cierra la electroválvula que regula la entrada de agua al equipo, cuando el procesador recibe una señal del sensor de nivel que indica que el tanque está lleno.

Por ésta razón el vaso de expansión siempre estará vacío simplemente consistirá en un orificio abierto hacia la atmósfera que permite la evacuación de vapor de agua en el caso de producirse y a su vez permite que el sistema sea abierto.

**Vaciado del sistema mediante purga.** El sistema de purga consiste es un tapón ubicado en la parte inferior del tanque, deberá ser abierto con la finalidad de evacuar lodos acumulados en el fondo.

Según el cronograma que se indica, para ésta operación se deberán tomar las precauciones pertinentes en cuanto a que el agua caliente evacuada no cause ningún daño a la infraestructura o eventuales quemaduras al persona que realice ésta actividad.

**Preparación y limpieza de redes de tuberías.** Antes de efectuar la prueba de estanqueidad las tuberías deben ser limpiadas internamente, con el fin de eliminar los residuos procedentes del montaje, llenándolas y vaciándolas con agua el número de veces que sea necesario.

Deberá comprobarse que los elementos y accesorios del circuito pueden soportar la presión a la que se les va a someter. De no ser así, tales elementos y accesorios deberán ser excluidos.

**Prueba preliminar de estanqueidad.** Esta prueba se efectuará a baja presión, para detectar fallos en la red y evitar los daños que podría provocar la prueba de resistencia mecánica.

**Prueba de resistencia mecánica:** La presión de prueba será de una vez y media la presión máxima de trabajo del circuito primario, con un mínimo de 3 bar, comprobándose el funcionamiento de las válvulas de seguridad.

Los equipos, aparatos y accesorios que no soporten dichas presiones quedarán excluidos de la prueba. La prueba hidráulica de resistencia mecánica tendrá la duración suficiente para poder verificar de forma visual la resistencia estructural de los equipos y tuberías sometidos a la misma.

## **CAPÍTULO V**

### **5 ANALIZAR EL COSTO – BENEFICIO DE ESTE SISTEMA PARA SU IMPLEMENTACIÓN.**

En este capítulo se analiza la relación costo-beneficio en la implementación de un sistema mediante el aprovechamiento de la energía solar térmica, para el calentamiento de agua del vaso principal de una piscina municipal cubierta, reservando tan solo el uso de las calderas para los picos de demanda energética, para reducir el uso tan intensivo de energías convencionales es preciso incorporar nuevas tecnologías que nos permitan mantener las mismas condiciones de confort, además de minimizar su impacto ambiental.

El análisis económico del proyecto toma valores actuales y así conocer la inversión inicial para su puesta en marcha, esto nos permite obtener una visión sobre la viabilidad del proyecto.

Para ello se calculará el VAN, TIR y a la Recuperación de la Inversión.

#### **5.1 Inversión inicial**

La inversión inicial indica la cuantía y la forma en que se estructura el capital para la puesta en marcha del nuevo sistema solar térmico, hasta alcanzar el umbral de rentabilidad.

Los materiales, el diseño y la instalación suman la mayor parte de los costes de un sistema solar, teniendo así una alta inversión inicial, con una vida útil promedio de 20 años, el periodo de amortización de una instalación solar puede ser tan sólo de 10 años (en función de la localidad donde se monte y de su uso).

Sin embargo, el hecho de que la inversión inicial requerida para instalar un sistema solar térmico sea relativamente elevada supone una barrera para su expansión a gran escala y es, sin duda, un obstáculo psicológico y financiero.

Para superar esta barrera, algunos gobiernos regionales y locales ofrecen incentivos económicos para la instalación de sistemas solares térmicos. Dentro de los elementos requeridos se contemplan los siguientes:

Tabla 42. Elementos para una instalación solar térmica

<b>Instalación térmica</b>	
<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Captadores solares	58
Valvulería	9
Bombas	1
Tuberías (m, \$/m)	96
Repuestos y Accesorios	141
Instalación (h)	256

Fuente: Autor

**5.1.2 Costos directos.** Los costos directos son aquellos proporcionales al tamaño de la obra, ya sea que tengan una relación directa con las cantidades de recursos utilizados en la producción, o que se deriven de la ejecución de una labor de construcción claramente asignable a una actividad constructiva.

También son la suma del costo del material, la mano de obra, y el equipo necesario para la construcción física del proyecto.

Los gastos producidos en obras preliminares, tales como la construcción de obras de protección, accesos a la obra, entre otros, deben ser considerados y evaluados como costos directos, teniendo en cuenta el número de usos para sólo recargar en forma proporcional el valor a cada obra, correspondiente a materiales, mano de obra y equipos comprometidos directamente con su ejecución.

Tabla 43. Costos directos

<b>EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Tarifa</b>		<b>Cantidad</b>	<b>COSTO (\$)</b>	
	<b>A</b>		<b>B</b>	<b>C = A * B</b>	
Herramientas menores		14,50	1,00	14,50	
<b>SUBTOTAL</b>				14,50	
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>TIEMPO TOTAL (Horas)</b>	<b>COSTO</b>
	A	B	C = A*B	R	D = C*R
Egresado Ing. Mecánica	1	5	5	80	400
Albañil-gasfitero	1	2,25	2,25	80	180
Soldador.	1	2,25	13,5	16	216
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>\$ 796,00</b>
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>	
		A	B	C = A*B	
Aislante térmico autoadhesivo e=50mm	4 x 1 M	15	102,47	1537,04	
Alambre gemelo # 16	M	50	0,45	22,50	
Bomba TS5 5PV	UND	1	105,00	105,00	
Captador solar CPC 12 OEM	UND	58	713,00	41354,00	
Codo PP 90° X 1/2"	UND	30	0,40	12,00	
Estructura soporte	UND	58	33,00	1914,00	
Kit accesorios modelo captador solar CPC 12OEM	UND	4	15,00	60,00	
Manguera negra 1/2"	M	90	0,20	18,00	
Tubo PP 1/2" x 6m	6M	9	6,90	62,10	
Tubo redondo en acero inoxidable 7/8"	6M	6	15,20	91,20	
Unión universal 1/2"	UND	20	1,20	24,00	
Válvula compuerta 1/2"	UND	1	10,20	10,20	
Válvula check 1/2"	UND	3	4,70	14,10	
Válvula esférica 1/2"	UND	5	6,40	32,00	
<b>SUBTOTAL</b>					<b>45256,14</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>	
		A	B	C = A*B	
Camioneta	UND	30	30	900	
<b>SUBTOTAL P</b>				900	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>46966,64</b>

Fuente: Autor



**5.1.3 Costos indirectos.** Son aquellos costos que no intervienen directamente en el desarrollo del proyecto. Por ejemplo: los salarios de dirección técnica, gastos administrativos, electricidad, internet, interés de préstamo, materiales de limpieza entre otros. Se considera un 25% del total de costos directos, como costo indirecto.

Por tratarse de empresa Pública.

Tabla 44. Costos indirectos

<b>Costos indirectos</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>
Director de gestión ambiental.	4226,64	9,00%
Técnico en energía alternativa	2348,13	5,00%
Secretaria	1408,88	3,00%
Guardia	1080,14	2,30%
Coordinador del Proyecto	892,29	1,90%
Promotor del proyecto.	892,29	1,90%
Luz, agua, internet, teléfono	892,29	1,90%
<b>Total (USD)</b>	<b>11740,66</b>	<b>25,0%</b>

Fuente: Autor

**5.1.4 Costos totales.**

Tabla 45. Costos totales

<b>Costos totales</b>	
Costos Directos	46962,64
Costos indirectos	11740,66
TOTAL (USD)	58703,29
+IVA 12%	7044,40
<b>COSTO TOTAL (USD)</b>	<b>65747,69</b>

Fuente: Autor

**5.1.5 Periodo de amortización.** La recuperación de la inversión de un sistema mediante paneles solares se realiza mucho antes de finalizar su vida útil garantizada y su ahorro a largo plazo en costes de gas glp., puede ser mucho mayor que el coste de la inversión.

No obstante, para dar una idea, podemos decir que las instalaciones térmicas quedan amortizadas aproximadamente a los 4–6 años.

A su vez, las instalaciones mediante paneles solares quedan amortizadas a partir de los 7-9 años.

Basta con hallar VAN de este proyecto de inversión para saber si el proyecto es viable o no. El VAN también nos permite determinar cuál proyecto es el más rentable entre varias opciones de inversión.

El VAN del proyecto, o valor actual neto, es una medida utilizada para determinar si una empresa debe emprender un proyecto. Este indicador toma los valores futuros de los flujos de caja del proyecto y los pone en valor presente.

El periodo de amortización es el tiempo que se tardaría en recuperar el gasto realizado. Para ello se debe conocer el ahorro anual que supone la utilización de engría solar.

Los datos necesarios para este cálculo son los siguientes.

Tabla 46. Energía solar útil anual captada por el equipo térmico solar

SUBSISTEMA	Energía (MJ/año)
Energía Solar captada	442174,282
<b>TOTAL ENERGÍA CAPTADA</b>	<b>442174,282</b>

Fuente: Autor

Para poder calcular el VAN se tiene que tener en cuenta un valor de ahorro anual, que es el que se va a calcular a continuación:

Primero se debe calcular la cantidad de combustible necesario para producir una energía igual a la que se produce en la instalación solar térmica:

Se parte de la fórmula:

$$Q = I \cdot m \cdot \eta \quad (70)$$

$$m = \frac{Q}{I \cdot \eta} \quad (71)$$

Dónde:

Q = Es una cantidad de energía igual a la producida por la instalación solar, pero en este caso es producida por la combustión de GLP.

I = Poder calórico del GLP, I = 10 830 kcal/kg

m = Masa de combustible necesario para producir una energía igual a la que se produce en la instalación solar térmica.

$\eta$  = Rendimiento térmico del intercambiador de calor ( $\eta = 0,68$ ).

Remplazando los valores en la (ecuación 5.4) se tiene:

$$m = \frac{442174,282\text{MJ}}{10830 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} * \frac{1\text{MJ}}{238,85 \text{kcal}} 0,54} = 18059,12 \text{ kg}$$

El precio del cilindro de 45 kg de GLP es de \$33,00 dólares, cada kg de GLP tiene un costo de \$ 0,73 dólares.

El ahorro anual está dividido en dos rubros uno que beneficia directamente al dueño de la instalación solar térmica y el segundo beneficia al gobierno nacional del Ecuador, según se calcula a continuación.

$$Ahorro_{Consumidor} = m * 0,73 \text{ USD/kg}$$

$$Ahorro_{Consumidor} = 13183,83 \text{ USD}$$

El siguiente paso es aplicar un método de evaluación de inversiones.

El método que empleará será el del Valor Actual Neto (VAN) siendo un método que proporciona una valoración financiera en el momento actual de los flujos de caja netos proporcionados por la inversión, es decir, presenta la relación entre los ingresos y los gastos de una inversión en función del tiempo.

$$VAN = -I_0 + \sum_n \frac{B_n}{(1+i)^n} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (72)$$

Dónde:

$I_0$  = Inversión inicial.

F = Flujo de caja o balance de caja es decir lo que se ha denominado llamado ahorro total.

I = Tasa de rentabilidad de la inversión,  $i = 2,5\%$

n = Número de años previsto para amortizar la instalación.

Para sea rentable, el valor del VAN a de ser positivo, es decir, para conocer el número de años necesarios para amortizar la inversión bastaría con igualar el VAN a cero y despejar n. Como no se puede despejar n, el cálculo se realizará de manera iterativa hasta que la expresión utilizada sea cero o positiva. Realizando este proceso iterativo con n y sabiendo que f es el ahorro anual,  $I_0$  la inversión inicial e i el tipo de descuento, se obtiene el periodo de amortización.

Por último se presenta una tabla en la que se muestra el ahorro que se establece cada año.

Llega un año en el que el valor del beneficio es positivo o lo que es más importante, mayor que cero, esto quiere decir que este es el primer año en el que no se tiene pérdidas y que empiezan a recoger beneficios, por lo que todos los años atrás han sido años de amortización.

Tabla 47. Beneficio anual acumulado

<b>Año</b>	<b>Beneficio acumulado</b>
0	-65.752
1	-9559,24
2	-8478,76
3	-7424,63
4	-4414,01
5	133,62

Fuente: Autor

$VAN > 0 \rightarrow$  el proyecto es rentable

$VAN = 0 \rightarrow$  el proyecto es rentable también, porque ya está incorporado ganancia de la TD

$VAN < 0 \rightarrow$  el proyecto no es rentable

El periodo de amortización obtenido para la presente instalación es aproximadamente igual a 5,8 años, según se observa en la siguiente tabla 47.

**5.1.6 Rentabilidad económica del proyecto.** Se calculará la rentabilidad del proyecto a través del método de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

La TIR es el valor de la tasa de actualización ( $i$ ) para el cual el valor actual de los ingresos es igual al valor actual de los egresos es decir el VAN es igual a cero.

$$0 = -I_0 + \sum_n \frac{B_n}{(1+i)^n} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (73)$$

Dónde:

$I_0$  = Inversión inicial.

F = Flujo de caja o balance de caja es decir lo que se ha denominado llamado ahorro total.

I = Tasa Interna de Retorno (TIR)

N = Número de años previsto para amortizar la instalación

Reemplazando los valores de  $I_0$  (1747), F (118) para un periodo de 13 años en la (ecuación 73) se obtiene:

$$0 = -1747 + \sum_{13} \frac{B_{13}}{(1+i)^{13}} = -18028 + \frac{118}{(1+i)^1} + \dots + \frac{118}{(1+i)^{13}}$$

Calculando el valor de (i) por iteraciones, se tiene:

$$i = 0,0252$$

Es decir:

TIR = 4,97% (Es el valor que se asumió al inicialmente en el interés para calcular el VAN)

Tabla 48. Flujo de caja

FLUJO DE CAJA PARA EVALUACION DE PROYECTOS								
		Período					Total	
	0	1	2	3	4	5		
<b>INGRESOS BRUTOS</b>								
Ingresos por ventas		45.600	51.072	57.201	64.065	71.752	289.690	
Inversión	65747,69						65.748	
<b>TOTAL DE INGRESOS (1)</b>	65.748	45.600	51.072	57.201	64.065	71.752	289.690	
<b>COSTOS DE INVERSION</b>								
Materiales	900,0							
Mano de obra	796,0							
Materiales	45.256,1							
Equipos	14,5							
Costos Indirectos	11740,66							
12%	7045,0							
<b>Subtotal de Costos de Inversión</b>	65.752	-	-	-	-	-	-	
<b>TOTAL COSTOS DE INVERSION (2)</b>	65.752	-	-	-	-	-	-	
<b>COSTOS DE OPERACION</b>								
Gastos de Administración							-	
Gastos de Ventas		23.200	26.448	30.150	34.372	39.184	43.886	
Amortización		4.100	4.232	4.380	4.545	4.731	4.991	
<b>TOTAL DE COSTOS DE OPERACION (3)</b>		27.300	30.680	34.530	38.917	43.915	175.342	
<b>TOTAL DE EGRESOS (4)=(2) + (3)</b>		27.300	30.680	34.530	38.917	43.915	175.342	
<b>INGRESOS NETOS (1)-(4)</b>		18.300	20.392	22.671	25.147	27.838	114.348	
Impuestos a las utilidades (-)		1.830	2.039	2.267	2.515	2.784	11.435	
Participación de trabajadores		4.095	4.602	5.179	5.838	6.587	26.301	
Otros impuestos (-)							-	
Depreciación (+)		-	-	-	-	-	-	
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	<b>-65.752</b>	<b>12.375</b>	<b>13.751</b>	<b>15.224</b>	<b>16.795</b>	<b>18.467</b>	76.612	
<b>FLUJO DE CAJA NETO ACUMULADO</b>		<b>12.375</b>	<b>26.126</b>	<b>41.350</b>	<b>58.145</b>	<b>76.612</b>		
<b>r (tasa de descuento)</b>	<b>12%</b>	(costo oportunidad del capital)						
<b>VAN</b>	<b>54.000</b>							
<b>VPN</b>	<b>-11.753</b>							
<b>TIR</b>	<b>4,97%</b>							
<b>PAYBACK</b>	<b>5-6 años</b>	0,188	0,397	0,629	0,884	<b>1,165</b>		

Fuente. Autor

**5.1.7 Rentabilidad ambiental del proyecto.** Mediante las instalaciones solares térmicas se obtienen múltiples beneficios ecológicos frenando el deterioro medioambiental, mitigando el efecto de la lluvia ácida, evitando la emisión de gases de efecto invernadero y contribuyendo de esta manera contra el calentamiento del planeta causado por la contaminación producida por el uso de combustibles de origen fósil.

Considerando que el GLP es el combustible utilizado analizaremos su composición: es un producto que proviene de el petróleo que a temperatura y presión ambiente es un gas al cual se le hace pasar a estado líquido para facilitar su transporte, manejo y almacenamiento.

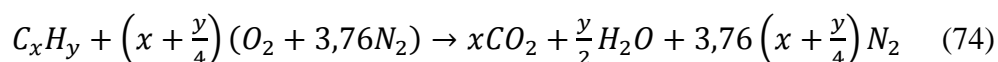
Se compone de hidrocarburos y los que se encuentran en mayor proporción son:

Tabla 49. Composición del gas natural

<b>Hidrocarburo.</b>	<b>Composición química</b>	<b>Porcentaje.</b>
Metano	$CH_4$	91.4
Etano	$C_2H_6$	7.2
Propano	$C_3H_8$	0.8
Nitrógeno	$N_2$	0.6

Fuente: Msc. Gilberto Zabala y Autor

\*Un hidrocarburo es un compuesto químico formado exclusivamente de átomos de Carbono (C) e Hidrógeno (H). La combustión del gas natural es una reacción estequiométrica, dada por:



Dónde:

x (moles)

y (moles)

Como la composición del gas natural está expresada en porcentaje de volumen se pasará a porcentaje en moles, aplicando la fórmula de la ecuación de estados para los gases ideales.

$$P.V = n.R.T \quad (75)$$

Dónde:

P = Presión. En c.n. 101325 Pa(1atm).

V = Volumen total del gas ( se supone  $1 m^3$ ).

N = Número de moles.



R = Constante de los gases ideales ( $R=8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$ )

T = Temperatura en °K. En c.n. T=298 °K (25°C)

Con éstos datos despejando el número de moles se obtiene:

$$n = 40,89 \text{ mol}$$

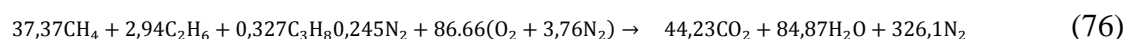
Una vez conocido el número de moles contenidas en un metro cúbico de gas ideal, se tiene que multiplicar este valor por los correspondientes tantos por ciento de los componentes del GLP, ya que la proporción en volumen es la misma que en moles se obtiene:

Tabla 50. Moles en la composición del gas natural.

<b>Hidrocarburo.</b>	<b>Composición química</b>	<b>Moles.</b>
Metano	$CH_4$	37,37
Etano	$C_2H_6$	2,94
Propano	$C_3H_8$	0,327
Nitrógeno	$N_2$	0,245

Fuente: Msc. Gilberto Zabala y Autor

Haciendo el equilibrio de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno se tiene:



Por lo tanto se tiene 44,23 moles de  $CO_2$  producidas por la combustión de un metro cúbico de GLP.

Ahora para conocer la masa correspondiente a los moles se utiliza la siguiente expresión:

$$n = \frac{m}{P_m} \quad (77)$$

Dónde:

n = Número de moles.

M = Masa en gramos.

P<sub>m</sub> = Peso molecular del CO<sub>2</sub> (gramos) = 44g

Entonces se obtiene una masa del CO<sub>2</sub> es igual a 1,946 kg.

Se sabe que la combustión de un metro cúbico de GLP produce 1,946kg de dióxido de carbono, este metro cúbico de gas natural equivale a 0,732 kg del mismo gas en c. n.

Se tiene que 0,732 kg de GLP producen 1,946 kg de dióxido de carbono. Para que un calefón a gas produzca la misma cantidad de energía captada por la instalación solar necesita 3234,76 kg de GLP anualmente, es decir anualmente se estaría evitando la emisión de:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 3234,76 * \frac{1,946}{0,732} \text{Kg} \quad (78)$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 8599,51 \text{ kg}$$

Luego si se estima una vida útil de la instalación de 20 años se tiene que:

$$\text{Emisiones Totales CO}_2 = 172 \text{ tm}$$

## CAPÍTULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

En la actualidad el calentamiento de agua para la piscina en estudio, se obtiene por el aporte calórico de dos caleras de tipo vertical de la marca TOBOGAN-WATER, teniendo como combustible para el funcionamiento de los mismos gas licuado de petróleo (GLP), conociendo el aumento de los costos de producción de energías no renovables se encarece la adquisición de este combustible.

La baja eficiencia térmica del 54% en los quemadores eleva el flujo másico de consumo de bombonas de gas de 45 Kg, teniendo un consumo semanal de 13 unidades.

Es primordial la determinación de condiciones de la Radiación global diaria media mensual sobre una superficie horizontal como base para su posterior análisis en una superficie inclinada, de esta manera obtenemos datos más exactos y acordes a las condiciones de implementación, pues los colectores solares serán colocados con un ángulo  $\beta = 5^\circ$  de inclinación.

Mediante la determinación de parámetros ambientales como radiación incidente sobre un plano inclinado, temperatura ambiente, temperatura del agua de la red y rendimiento térmico del captador solar, son los más influyentes para un correcto análisis de la energía anual neta disponible en el cantón Guano sector Los Elenes, habiendo obtenido un valor igual a  $3843,60 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}\right)$  el cual representa un alto valor en comparación a otras localidades debido a la ventaja posicional del Ecuador respecto al sol, traduciéndose en la recepción de una mayor cantidad de radiación solar, misma que varía dentro del territorio nacional de acuerdo a la longitud, latitud y altura del lugar, en el cantón Guano

al existir de promedio 5,7 horas de sol brillante al día en el año está garantizado el funcionamiento de un sistema de captación solar en todo el tiempo y estación anual.

Se han determinado condiciones de confort específicas para una piscina cubierta basándonos en reglamentos y recomendaciones sobre el aprovechamiento de energía solar, hay que señalar que la normativa actualmente en vigor no autoriza el consumo de energías convencionales para el calentamiento del agua de piscinas no cubiertas excepto para piscinas con fines terapéuticos, siendo la energía solar y la bomba de calor consideradas como fuentes no convencionales por la Dirección General de la Energía desde la publicación del Reglamento en 1.980.

Se ha estudiado la posibilidad de recuperar el calor mediante un análisis de las distintas pérdidas de calor que influyen sobre la temperatura del vaso de la piscina, a fin de conocer los factores principales sobre los que es preciso actuar desde el punto de vista del ahorro energético, obteniendo pérdidas totales anuales de 442174,4328 MJ, de este análisis verificamos que las pérdidas más importantes que afectan en el mantenimiento de la temperatura del vaso de una piscina son la evaporación y la renovación del agua.

Para el funcionamiento óptimo del sistema de calentamiento solar bajo las condiciones ambientales y geográficas del cantón Guano sector Los Elenes, se ha determinado un área de captación igual a 116 m<sup>2</sup>, obteniendo 58 colectores con un área de captación de 2m<sup>2</sup> cada uno.

Es de vital importancia contar con el diseño de un plan de mantenimiento aplicable a la instalación solar térmica, para lo cual se definieron tres partes de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación y de esta manera asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma.

El presente proyecto tiene como propósito no tan sólo ahorrarle a la empresa costes de consumo en gas (GLP) y en agua, sino también contribuir en lo posible en las

reducciones de emisiones contaminantes, particularmente metano, etano, propano y nitrógeno y de esta manera disminuir el negativo impacto ambiental que estos generan.

Actualmente podemos afirmar que el aprovechamiento de la energía solar térmica es una tecnología madura y fiable, que las inversiones realizadas, en general, son amortizables, se trata de una alternativa respetuosa con el medio ambiente. Cada nuevo sistema de energía solar térmica es un paso hacia un ambiente limpio y sostenible.

## **6.2 Recomendaciones**

Es necesaria la implementación de este Sistema para el calentamiento del agua de la piscina semi olímpica del Balneario Turístico “Los Elenes”, ya que con el mismo permitirá reducir el consumo de GLP, los costos para la operación y además la emanación de los gases que afectan el medio ambiente; por consiguiente esta propuesta nos lleva a un significativo ahorro económico y desde el punto de vista ambiental se reduce la emisión de gases contaminantes, resultando un aporte a la conservación de nuestro medio ambiente.

Se debe considerar las normativas vigentes nacionales y en el caso de no existir una normativa deberá referirse a normas extranjeras existentes.

Desde el punto de vista del ahorro energético habría que actuar sobre las pérdidas por evaporación para lo cual se recomienda la colocación de una manta térmica que cubra la lámina de agua durante el período de inutilización de la piscina, recomendación que se hace en el apartado de recuperación de calor (2.4.5.5), aspecto mencionado en el nuevo RITE.

Brindar capacitación al personal de mantenimiento y operación en el funcionamiento y manejo de los equipos de acuerdo a lo estipulado en el manual de mantenimiento de los equipos.

Realizar acciones de mantenimiento correctivo predictivo de la bomba o sistema hidráulico en horarios de la tarde o de irradiancia del sol permanente difusa (“baja”) para evitar acumulación elevada de calor (por falta de circulación de agua) en los colectores incrementando el riesgo de accidentes de quemaduras causadas por el desprendimiento de vapores o prejuicios para el sistema.

Se debe considerar las dilataciones que sufren las tuberías al variar la temperatura del fluido, deben compensarse a fin de evitar roturas en los puntos más débiles, que suelen ser las uniones entre tuberías y aparatos, donde suelen concentrarse los esfuerzos de dilatación y contracción.

Seguir los consejos dados, en el desarrollo del proyecto, para la operación, mantenimiento y seguridad del sistema, las cuales permiten alargar la vida útil de toda la instalación, y garantizar un suministro oportuno y confiable de agua caliente que es el objetivo propuesto.

Mantener en stock un kit de repuestos de los calentadores, para evitar paros en el regular funcionamiento del calentamiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**SOL-ARQ, Soluciones arquitectónicas sustentables. 2011.** Radiación solar. *www.sol-arq-com*. [En línea] 2011. <http://www.sol-arq.com/index.php/factores-ambientales/radiacion>.

**Atlantic Consulting. 2009.** *El GLP y la calidad del aire local*. Gattikon, Suiza : s.n., 2009.

**BALDASANO, José M<sup>a</sup>., SORIANO, Cecília y FLORES, Henry. 2001.** Atlas de Radiación Solar a Catalunya. [aut. libro] Institut Català d'Energia. Barcelona : s.n., 2001.

**CASTILLA, F, y otros. 1982.** *Manual para instalaciones de gas L.P.* s.l. : Industrias Ventane, 1982.

**CENGEL. 2007.** Transferencia de calor y calor y masa. [En línea] 01 de 03 de 2007. [file:///C:/Users/Dell/Downloads/cengel\\_transferencia\\_3e\\_capitulo\\_muestra\\_c14.pdf](file:///C:/Users/Dell/Downloads/cengel_transferencia_3e_capitulo_muestra_c14.pdf).

**Centro metereológico ESPOCH. 2010-2011-2012.** *Anuario*. Riobamba : s.n., 2010-2011-2012.

**colaboradores de Wikipedia. 2012.** Wikipedia, La enciclopedia libre. *Constante solar*. [En línea] 3 de 4 de 2012. [http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Constante\\_solar&oldid=77240256](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Constante_solar&oldid=77240256). 77240256.

**CORPOEMA, Corporación para la energía y el medio ambiente. 2010.** Energía Cap 3. [En línea] 2010. [http://www.corpoema.com/CDenergia/I\\_Cap3\\_inclinadas.PDF](http://www.corpoema.com/CDenergia/I_Cap3_inclinadas.PDF).



**DÍAZ POOLS, Piscinas. 2012.** Climatización de piscinas. [En línea] 2012. <http://www.climatizaciondepiscinas.info/deshumificadores.htm>.

**ENALMEX. 2010.** enalmex.com. *Energía Alternativa de México*. [En línea] 2010. [Citado el: 10 de 05 de 2012.] <http://www.enalmex.com/docpdf/libro/ch01.pdf.pdf>.

*Energía Solar Térmica. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN ANEOR. 2007.* 4-11, Madrid : ANEOR, 2007.

**EU SOLAR. Catálogo 2012.** CoLectorsolar de 200lt de capacidad, 20 tubos al vacío termosifón. Catálogo 2012.

**FUENTES CALERO, David.** *Instalación de colectores solares.* pg. 94.

**GALEON. 2004.** *Piscina cubierta.* s.l. : Pedro Giner Editorial, S.L, 2004.

**GALLO VALLEJO, Miguel Ángel. 2012.** *La temperatura de agua de las piscinas cubiertas.* Granada : s.n., 2012.

**GAYO PÍRIZ, Antonio. 2009.** *Auditoría Energética en una piscina climatizada.* Madrid : Universidad Pontificia Comillas, 2009.

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO. 2011.** chimborazo.gob.ec. [En línea] GADPCH, Enero de 2011. [http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/index.php?option=com\\_content&task=view&id=586&Itemid=15](http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/index.php?option=com_content&task=view&id=586&Itemid=15).

*Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. UNE 94002:2005. 2004.* 1-11, s.l. : ANEOR Ediciones, 2004. Cálculo de la demanda energética.

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. 2008.** Instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial. Requisitos. [aut. libro] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2260:2001. Quito : s.n., 2008.

**MORALES, Edwin. 2004.** *INGENIERIA*. Quito : Caballitos, 2004.

**MORENO CORRALES, Laura.** *Diseño de instalaciones de máxima eficiencia en piscinas climatizadas*. Madrid : s.n.

**OCW UNIA.** Ciencias Tecnológicas, caracterización y evaluación de la radiación solar. *OpenCourseWare*. [En línea] [Citado el: 15 de 06 de 2012.] <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/tema-2>.

**PESÁNTEZ ENCALADA, Jimmy. 2012.** *Reducción de costos en el calentamiento de agua en Ecuador, a través de sustitución de calefones con uso de GLP por sistemas de energía solar térmica*. La Libertad : Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2012.

**SIERRA, Emiliano. 2010.** *Fundamentos de energía solar térmica*. 2010.

**TU TIEMPO NETWORK. 2009.** [www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net). [En línea] Tutiempo Network, S.L. , 2009. <http://www.tutiempo.net/Tierra/Ecuador/Canton-Guano-EC005247.html>.